

TREBALL FI DE GRAU

Grau en Enginyeria Biomèdica

**ANÀLISI I AVALUACIÓ D'UNA PLATAFORMA
D'ENTRENAMENT ENDOSCÒPIC**



Memòria i Annexos

Autor:	Erik Andrés Reig
Directora:	Dra. Alícia Casals Gelpí
Co-Director:	Dr. Albert Hernansanz Prats
Convocatòria:	Juny 2019

Resum

Aquesta memòria recull el procés d'anàlisi estadística de dades de posició i temps d'un dispositiu de formació i avaluació en tècniques endoscòpiques. L'estudi, que ha involucrat a estudiants, residents i professionals ginecològics, té com a objectiu l'avaluació de la plataforma en el context d'una futura adaptació en el sistema oficial europeu d'avaluació en tècniques endoscòpiques ginecològiques. Per donar validesa al dispositiu, s'ha comprovat si aquest és capaç de distingir i classificar els usuaris en dos grups diferents, definits segons la seva experiència prèvia en aquest tipus d'intervencions quirúrgiques.

Per fer-ho, s'ha portat a terme el disseny de diferents paràmetres estadístics utilitzats en la literatura que permeten avaluar el rendiment de l'usuari a nivell multivariable.

A partir de la comparació dels resultats dels dos grups participants, s'ha observat que existeixen diferències robustes. Alhora, també s'han detectat diferències significatives en ambdós grups entre la primera repetició i l'última amb el dispositiu.

L'existència de diferències significatives ha portat l'estudi a la conclusió que el dispositiu és vàlid per a la formació i avaluació en tècniques endoscòpiques en el camp de la ginecologia.

Resumen

Esta memoria recoge el proceso de análisis estadístico de datos de posición y tiempo de un dispositivo de formación y evaluación en técnicas endoscópicas. El estudio, que ha involucrado a estudiantes, residentes y profesionales ginecológicos, tiene como objetivo la evaluación de la plataforma en el contexto de una futura adaptación en el sistema oficial europeo de evaluación en técnicas endoscópicas ginecológicas. Para dar validez al dispositivo, se ha comprobado si este es capaz de distinguir y clasificar los usuarios en dos grupos diferentes, definidos según su experiencia previa en este tipo de intervenciones quirúrgicas.

Para hacerlo, se ha llevado a cabo el diseño de diferentes parámetros estadísticos utilizados en la literatura que permiten evaluar el rendimiento del usuario a nivel multivariante.

A partir de la comparación de los resultados de los dos grupos participantes, se ha observado que existen diferencias robustas en el rendimiento. A su vez, también se han detectado diferencias significantes en ambos grupos entre la primera repetición y la última con el dispositivo.

La existencia de diferencias significativas ha llevado al estudio a la conclusión que el dispositivo es válido para la formación y evaluación en técnicas endoscópicas en el campo de la ginecología.

Abstract

This report includes the process of statistical analysis of position and time data of a device intended to train users and evaluate their performance in endoscopic techniques. The study, which has involved students, residents and gynaecological professionals, aims to evaluate the platform in the context of a future adaptation to the official European system of the evaluation of gynaecological endoscopic techniques. In order to validate the device, it has been verified whether it is able to distinguish and classify users into two different groups, both defined according to their previous experience in this type of surgical interventions.

To do so, the design of different statistical parameters used in the literature, allowing the evaluation of the user's performance at the multivariate level, has been carried out.

Given the comparison of the results of the two participating groups, robust differences in performance have been observed. In turn, significant differences have also been observed in both groups between the first and the last attempt with the use of the device.

The existence of significant differences has led the study to conclude that the device is valid for the training and evaluation of endoscopic techniques in the gynaecology field.



Agraïments

S'agraeix, per una banda, la dedicació de la Dra. Àlícia Casals i Gelpí i del Dr. Albert Hernansanz Prats per la tutoria del treball i la introducció en el grup de recerca que desenvolupa l'objecte del projecte.

Per altra banda, s'agraeix el suport del grup *SurgiTrainer* durant la realització del treball i pels recursos que han posat a la meva disposició per a la bona realització d'aquest projecte, especialment l'adquisició de dades, que ha permès realitzar l'estudi que es desplega en el treball.

Es destaca que en les múltiples visites al laboratori del grup de recerca, l'entorn, la passió i la manera de treballar dels companys han estat una font de motivació per conèixer més sobre el tema que envolta el present projecte i sobre les diferents matèries amb les quals treballa el grup.



Índex

RESUM	I
RESUMEN	II
ABSTRACT	III
AGRAÏMENTS	V
1. PREFACI	1
1.1. Motivació	1
1.2. Requeriments previs	1
2. INTRODUCCIÓ	3
2.1. Objecte del treball	3
2.2. Marc teòric	4
2.2.1. Endoscòpia	4
2.2.2. Histeroscòpia i complicacions possibles	5
2.2.3. Requeriments psicomotrius en histeroscòpia	7
2.2.4. Realitat virtual	9
2.3. Objectius	9
2.4. Justificació	10
2.5. Abast	14
3. MATERIALS I MÈTODES	17
3.1. Subjectes	17
3.2. Plataforma d'entrenament	18
3.2.1. Entorn hardware	18
3.2.2. Exercici i condicions d'entrenament	19
3.2.3. Enregistrament de paràmetres psicomotrius	22
3.3. Estadística	24
3.3.1. Estadística multivariable	24
3.3.2. Paràmetres estadístics d'avaluació del rendiment	24
3.3.3. Eines i mètodes d'anàlisi estadística	28
4. RESULTATS	33
4.1. Introducció	33
4.2. Paràmetres estadístics d'avaluació del rendiment	33

4.3.	Anàlisi estadística de potència	35
4.4.	Anàlisi de la validesa de constructe	38
4.5.	Efecte de l'entrenament en el rendiment.....	39
4.6.	Corbes d'aprenentatge.....	42
5.	DISCUSSIÓ	45
5.1.	Avaluació dels paràmetres estadístics	45
5.2.	Avaluació general del dispositiu	48
5.3.	Fortaleses i debilitats de l'estudi	48
5.4.	Millores de futur	49
6.	ANÀLISI DE L'IMPACTE AMBIENTAL	51
	CONCLUSIONS	53
	PRESSUPOST	55
	BIBLIOGRAFIA	57
	ANNEX A: CORBES D'APRENTATGE	63
	ANNEX B: CODI MATLAB	73

Índex de figures

Figura 2.1. L' <i>HysTrainer</i> , una plataforma d'entrenament i avaluació en tècniques histeroscòpiques.	3
Figura 2.2. Dibuix representatiu de la intervenció histeroscòpica. Font: Wikipedia [12]	5
Figura 2.3. Graus de llibertat de l'instrument endoscòpic. Font: IEEE [24]	8
Figura 2.4. Imatges en detall de l'endoscopi de 30º. Font: eBay [55]	9
Figura 2.5. <i>HystSim</i> de la companyia suïssa <i>VirtaMed</i> . Font: Virtamed [31]	13
Figura 2.6. <i>Simbionix HYST Mentor</i> de la companyia estatunidenca 3D Systems. Font: 3D Systems [34]	14
Figura 3.1. Distribució dels participants en l'estudi segons el grau d'expertesa.	17
Figura 3.2. Model genital femení per a la plataforma <i>HysTrainer</i> , dissenyat per a la pràctica histeroscòpica diagnòstica (H1x)	18
Figura 3.3. A (esquerra): model genital femení dissenyat per a la pràctica histeroscòpica diagnòstica (H1x) i B (dreta): model genital masculí dissenyat per a la pràctica citoscòpica diagnòstica (C1x).	19
Figura 3.4. Usuari emprant el dispositiu <i>HysTrainer</i> per realitzar l'exercici H11	20
Figura 3.5. Visualització de la imatge generada per la càmera de l'histeroscopi durant l'exercici H11. L'el·lipse groga havia d'emmarcar-se dins l'anella negra que encercla el llum LED (punt objectiu)	21
Figura 3.6. Panell de resultats, mostrat posteriorment a l'execució de l'exercici H11.	21
Figura 3.7. Representació dels valors de probabilitat d'un error tipus II (en blau) i d'un error tipus I (en vermell). Font: Wikipedia [43]	29
Figura 3.8. Corba d'aprenentatge teòrica (Font: Wikipedia [50])	31

Figura 5.1. Il·lustració gràfica de la trajectòria seguida amb l'instrument per un subjecte de l'estudi.

_____ 50

Figura 0.1. Representació gràfica de la corba d'aprenentatge per a l'exactitud en posició, des de la repetició 1 fins a la 30, tant el grup expert com pel grup principiant. _____ 64

Figura 0.2. Representació gràfica de la corba d'aprenentatge per a l'exactitud en rotació, des de la repetició 1 fins a la 30, tant el grup expert com pel grup principiant. _____ 65

Figura 0.3. Representació gràfica de la corba d'aprenentatge per a la distància recorreguda, des de la repetició 1 fins a la 30, tant el grup expert com pel grup principiant. _____ 66

Figura 0.4. Representació gràfica de la corba d'aprenentatge per a la rotació acumulada, des de la repetició 1 fins a la 30, tant el grup expert com pel grup principiant. _____ 67

Figura 0.5. Representació gràfica de la corba d'aprenentatge per al temps d'intervenció, des de la repetició 1 fins a la 30, tant el grup expert com pel grup principiant. _____ 68

Figura 0.6. Representació gràfica de la corba d'aprenentatge per a la velocitat màxima en canvis d'objectiu, des de la repetició 1 fins a la 30, tant el grup expert com pel grup principiant. _ 69

Figura 0.7. Representació gràfica de la corba d'aprenentatge per a la velocitat mitjana en canvis d'objectiu, des de la repetició 1 fins a la 30, tant el grup expert com pel grup principiant. _ 70

Figura 0.8. Representació gràfica de la corba d'aprenentatge per a la velocitat mitjana global, des de la repetició 1 fins a la 30, tant el grup expert com pel grup principiant. _____ 71

Índex de taules

Taula 2.1. Classificació d'especialitzacions endoscòpiques segons l'orifici d'entrada (Font: Wikipedia [52])	4
Taula 3.1. Paràmetres psicomotrius generals llegits per l' <i>HysTrainer</i>	23
Taula 3.2. Paràmetres psicomotrius de registre de l' <i>HysTrainer</i>	23
Taula 4.1. Mitjanes aritmètiques dels resultats dels paràmetres d'avaluació del rendiment en la repetició 1, en la repetició 30 i de forma global, tant pel grup expert com pel grup principiant	34
Taula 4.2. Comparació entre les mides de mostra real (amb la potència estadística corresponent) i mides de mostra mínimes per a una potència estadística del 95%, segons els resultats de cadascun dels paràmetres, per a la comparació entre el grup principiant i el grup expert	36
Taula 4.3. Comparació entre les mides de mostra real (amb la potència estadística corresponent) i les mides de mostra mínimes per a una potència estadística del 95%, segons els resultats de cadascun dels paràmetres, per a la comparació entre la repetició 1 i la repetició 30 del grup expert	37
Taula 4.4. Comparació entre les mides de mostra real (amb la potència estadística corresponent) i les mides de mostra mínimes per a una potència estadística del 95%, segons els resultats de cadascun dels estadístics, per a la comparació entre la repetició 1 i la repetició 30 del grup principiant	38
Taula 4.5. Diferències entre principiants (PRI) i el grup expert (EXP) dels paràmetres d'avaluació del rendiment	39
Taula 4.6. Diferències entre els valors dels paràmetres d'avaluació del rendiment entre la repetició 1 i la 30 del grup expert	40
Taula 4.7. Diferències entre els paràmetres d'avaluació del rendiment entre la repetició 1 i la 30 del grup principiant	41
Taula 0.1. Desglossament dels costos de material del projecte	55

Taula 0.2. Desglossament dels costos d'enginyeria del projecte _____	55
---	----

Taula 0.3. Pressupost total del projecte _____	56
---	----

1. Prefaci

1.1. Motivació

Les complicacions clíniques derivades de la cirurgia i, específicament, de la insuficient experiència del professional manquen de sentit dins el marc de la medicina moderna, on existeixen solucions tecnològiques formatives per als professionals més novells. Malgrat que ja existeixen eines, les solucions actuals o bé no ofereixen un entorn de simulació complet, o bé el cost és excessivament alt; factors que poden portar a la desmotivació dels aprenents per seguir formant-se en la seva especialitat professional.

El Centre de Recerca en Enginyeria Biomèdica (CREB), amb la col·laboració de l'Institut de Recerca de l'Hospital de Sant Pau i l'Institut de Bioenginyeria de Catalunya (IBEC), van crear l'spin-off *Surgitrainer*, “una plataforma de formació, entrenament i acreditació en tècniques de cirurgia mínimament invasiva” [1].

Surgitrainer està desenvolupant l'*HysTrainer*, una plataforma d'entrenament d'endoscòpia histeroscòpica que s'ha llançat amb l'objectiu de ser referència en l'entrenament histeroscòpic i substituir el model actual a Europa.

En conseqüència, el treball sorgeix de la necessitat d'analitzar les dades que s'obtenen dels usuaris participants emprant aquesta plataforma d'entrenament. Mitjançant l'anàlisi es podrà avaluar el grau d'assistència que s'aconsegueix amb la pràctica successiva d'actuacions que emulen activitats endoscòpiques reals.

En l'àmbit personal, es dona rellevància al fet de poder aportar en un projecte que té com a missió que cap pacient tingui complicacions derivades de la manca de formació del cirurgià que, d'una forma molt resumida, es tradueix a millorar la qualitat de vida dels pacients.

1.2. Requeriments previs

Per a poder realitzar el present treball i complir amb els objectius proposats més endavant en el projecte, es considera necessari tenir coneixements i experiència en continguts d'Estadística, especialment en l'Anàlisi Multivariable de dades, i en l'ús del programari *MATLAB*; i tenir accés lliure a les dades registrades pel dispositiu per a la correcta anàlisi estadística.



2. Introducció

2.1. Objecte del treball

L'objecte del treball (Figura 2.1.) és una plataforma d'entrenament i avaluació de procediments quirúrgics, híbrida (és a dir, conté elements físics i virtuals) i ha estat dissenyada perquè els cirurgians puguin millorar la seva destresa clínica mitjançant repeticions successives d'actuacions que emulin operacions endoscòpiques en un entorn el màxim realista possible.



Figura 2.1. L'HysTrainer, una plataforma d'entrenament i avaluació en tècniques histeroscòpiques.

Amb un entrenament adequat, es busca promoure una posterior operació quirúrgica real amb resultats favorables, principalment la reducció de danys en l'úter. La plataforma registra dades de la posició i orientació de l'instrument que empra l'usuari mentre executa l'exercici. A partir de les dades registrades i de diversos paràmetres estadístics utilitzats en la literatura, s'avaluarà si els usuaris segueixen una corba d'aprenentatge significativa atenent a la seva expertesa. Per tant, l'anàlisi i avaluació de la plataforma podrà conduir l'estudi a conèixer si la plataforma pot resultar una aplicació vàlida en la formació de cirurgians i en quina mesura es millora l'aprenentatge.

Aquest entrenador quirúrgic està format pel model anatòmic (vagina, cèrvix i úter), un conjunt de sensors per registrar les dades i un ordinador amb una pantalla interactiva amb realitat augmentada. La plataforma d'entrenament és el primer prototip d'una sèrie d'entrenadors orientats a diferents camps quirúrgics. El seu disseny modular permet la fàcil reutilització en els camps de la cistoscòpia, artroscòpia i la cirurgia transanal mínimament invasiva. Actualment, l'entrenador s'està validant en

diferents departaments ginecològics d'hospitals públics d'Espanya i Bèlgica. Amb més de 30 subjectes involucrats, s'estan obtenint resultats positius pel que fa a la validesa de la metodologia. Paral·lelament, s'està desenvolupant el prototip preindustrial [2,53].

2.2. Marc teòric

2.2.1. Endoscòpia

L'endoscòpia és un procediment quirúrgic que implica la inserció d'un instrument anomenat endoscopi per examinar l'interior del cos. L'endoscopi és un tub llarg, prim i flexible que inclou una font de llum i una càmera a l'extrem contrari de l'usuari que es comunica amb una pantalla exterior, on es mostren imatges en directe de l'interior del cos. L'endoscopi pot inserir-se a través d'un orifici natural del cos (com la vagina, per exemple) o també mitjançant un tall petit en la pell (incisió quirúrgica) [3].

Generalment, l'endoscòpia es realitza per investigar símptomes inusuals o bé com a suport d'altres tipus de cirurgies que requereixen navegar i actuar a partir d'imatges de l'interior del cos (com la biòpsia, que es defineix com l'extracció d'una petita mostra de teixit intern per analitzar-lo) [3].

Segons l'orifici pel qual s'introdueixi l'endoscopi, la pràctica endoscòpia rep un nom específic diferent, tal com s'especifica en la Taula 2.1.:

Orifici d'entrada	Exemples de tipus d'endoscòpies
Boca (fins al duodè)	Esofagoscòpia, gastroscòpia, ...
Anus (fins al cec)	Rectoscòpia, colonoscòpia, ...
Meat uretral (fins a la bufeta)	Cistoscòpia
Vestíbul nasal	Endoscòpia otorrinolaringològica, broncoscòpia, ...
Introït vaginal	Colposcòpia, histeroscòpia
Per incisió quirúrgica	Laparoscòpia (abdominal i peritoneal), artroscòpia, ...

Taula 2.1. Classificació d'especialitzacions endoscòpiques segons l'orifici d'entrada (Font: Wikipedia [52])

La cirurgia mínimament invasiva (CMI), que ha experimentat una gran popularitat en les últimes dècades a causa dels ràpids avenços de la tecnologia i dels consensos en la comunitat clínica [4,5], implica la inserció de certs instruments en un orifici del cos mitjançant incisions petites (o aprofitant orificis naturals) per poder realitzar procediments quirúrgics [6]. D'aquesta manera, l'endoscòpia és un tipus de cirurgia mínimament invasiva, tot i que certa literatura considera sinònims ambdós termes [7]. L'endoscòpia, com a CMI, té com a avantatges el trauma quirúrgic reduït (i, per tant, un dolor postoperatori menor), ràpida recuperació, curta hospitalització i bons resultats a nivell cosmètic [6].

L'endoscòpia posa en repte les habilitats del cirurgià a causa de trobar-se a certa distància del camp quirúrgic, requerint instruments llargs. Així, el sentit del tacte i el de la força per reconèixer les propietats de material, sigui teixit o òrgan, és dèbil i aquesta mancança pot comportar problemes greus per possibles danys a la zona [8]. Cal considerar, a més, el reduït rang de moviment del professional durant la pràctica quirúrgica, ja que usualment opera en espais restringits [9]. Aquests reptes suposen una necessitat d'entrenament d'habilitats endoscòpiques, especialment en el professional principiant.

2.2.2. Histeroscòpia i complicacions possibles

Dins d'aquests procediments, la histeroscòpia és una tècnica quirúrgica mínimament invasiva per a l'avaluació i tractament de patologies intrauterines [12]; es realitza per investigar un sagnat anormal uterí o per infertilitat; i per portar a terme ablacions de l'endometri i reseccions de patologies intrauterines (p. ex. pòlips uterins). La majoria de procediments histeroscòpics són diagnòstics, tenen un baix risc i es poden fer en configuració ambulatoria. Aquest és el cas de la histeroscòpia diagnòstica. Quant a la histeroscòpia operativa (reseccions, entre altres), l'experiència és essencial per evitar complicacions quirúrgiques [11]. La Figura 2.2. mostra l'accés al camp quirúrgic. A diferència de la laparoscòpia ginecològica, la histeroscòpia no requereix incisió quirúrgica per introduir l'endoscopi (en aquest cas, histeroscopi), ja que s'accedeix pel cervix o introït vaginal [3].

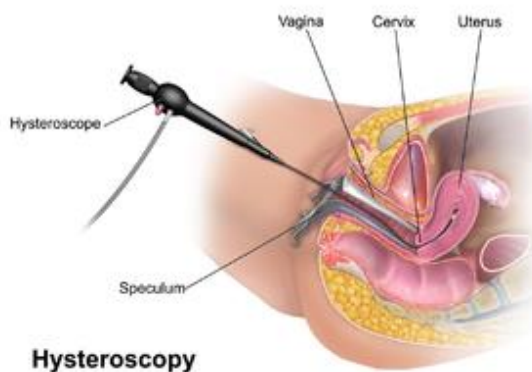


Figura 2.2. Dibuix representatiu de la intervenció histeroscòpica. Font: Wikipedia [12]

Complicacions possibles

Per una banda, un posicionament del pacient incorrecte pot portar a lesions nervioses, lesions a l'esquena, danys a teixits tous o trombosi venosa profunda (TVP) [14], que és la formació d'un coàgul sanguini en una vena profunda [13].

Per altra banda, els medis de distensió que s'utilitzen per expandir l'úter també tenen associats certs perills que són específics de la cirurgia histeroscòpica. La naturalesa d'aquestes complicacions radica en el tipus de medi utilitzat: [14]

- a) Diòxid de carboni. Un abús de diòxid de carboni pot portar al pacient a una arrítmia cardíaca en configuracions d'histeroscòpia diagnòstica.
- b) Fluids d'alt pes molecular. En histeroscòpia diagnòstica o operativa, l'ús de fluids d'alt pes molecular són convenients amb l'ús d'instruments mecànics. No obstant això, aquests fluids poden produir en el pacient una insuficiència respiratòria greu o edema pulmonar (acumulació de líquid als pulmons).
- c) Fluids de baix pes molecular. En el pacient, un excés de salina pot produir hipervolemia (augment anormal del volum de plasma en l'organisme); grans quantitats de sorbitol al cos poden provocar hipoglucèmia en pacients diabètics o hipervolemia; i en el cas de la glicina pot produir vertigen, nàusees o hipertensió.

Finalment, a nivell quirúrgic hi ha dues complicacions principals associades a aquest tipus d'endoscòpia: [14]

- Perforació uterina. Complicació que, amb una relativa baixa incidència (0,8% [15]), sol donar-se amb el contacte amb l'histeroscopi o un altre instrument quirúrgic en la paret uterina. La gestió d'aquest tipus d'accident quirúrgic depèn de la mida i lloc de la perforació, pel que fa a la proximitat d'altres òrgans que puguin ser afectats. Es considera perforació simple quan la profunditat de la perforació no supera la llargària de la cavitat uterina i rarament comporta danys a altres òrgans. Se sol donar amb l'histeroscopi. Per altra banda, una perforació complexa de l'úter requereix una posterior laparoscòpia per observar si hi ha danys en òrgans i altres perforacions ocultes. Aquestes perforacions normalment tenen lloc amb accidents amb l'ús d'instruments mecànics, elèctrics o làser.
- Hemorràgia. El sagnat intrauterí és associat al tipus de procediment quirúrgic i es pot controlar mitjançant electrocoagulació. Tanmateix, quan el control de la coagulació falla s'insereix un catèter per taponar el focus i s'extreu passades unes hores.

Cal considerar, a més, les complicacions tardanes derivades del procediment quirúrgic: infecció (inflamació pèlvica) i formació d'adhesions [14].

2.2.3. Requeriments psicomotrius en histeroscòpia

La histeroscòpia, com a pràctica endoscòpica, requereix habilitats psicomotrius bàsiques per realitzar el procediment amb el menor risc possible pel que fa a perforacions o altres complicacions derivades. L'entrenament histeroscòpic, que millora el rendiment histeroscòpic [11], té l'objectiu de formar al professional en habilitats pràctiques que li permetin superar les barreres associades a la histeroscòpia:

- Efecte fulcre i forces de palanca d'instruments llargs

L'efecte fulcre es defineix com la inversió de la direcció del moviment de l'instrument pel fet que el punt d'accés de l'instrument (en aquest cas la vagina) actua com a suport de palanca; de manera que, per exemple, un moviment de la mà del cirurgià cap amunt donarà lloc a un moviment de l'extrem de l'instrument cap avall [16]. Com l'instrument quirúrgic és relativament llarg i, considerant les forces de palanca, un petit esforç en l'extrem on se situa l'usuari pot generar un moment significativament alt en l'altre extrem augmentant el risc de provocar danys en l'anatomia del pacient [17].

- Baixa apreciació de velocitat de moviment i profunditat des d'una pantalla bidimensional

Els cirurgians, gràcies a l'excel·lent magnificació de les imatges obtingudes directament de l'histeroscopi, poden visualitzar el teixit d'una forma molt més detallada de la que tindrien a ull nu. No obstant això, aquestes imatges poden ser la causa indirecta d'un accident, ja que la magnificació tendeix a exagerar els moviments del cirurgià [16].; de manera que els seus moviments semblen més ràpids a través de la pantalla quirúrgica. Addicionalment, la magnificació pot portar al professional a disminuir la seva capacitat de jutjar distàncies, augmentant així el risc de perforacions internes [18].

- Necessitat d'alta coordinació mà-ull

La psicomotricitat del professional es veu afectada per dues causes: la incorrecta col·locació de la càmera, el cirurgià mira directament el monitor i no a les seves mans; i la incorrecta orientació dels moviments de l'instrument, existeix una diferència entre la línia de visió de l'endoscopi i la línia de visió natural del cirurgià [16]. Com a resultat, en el monitor l'instrument es pot moure en una direcció diferent a l'esperada si el cirurgià manca d'experiència en aquest tipus de procediments. Per superar aquesta barrera és necessari un període llarg (i/o intens) d'entrenament [19]; tot i que cal considerar que els usuaris més afins als videojocs els pot resultar més senzill adquirir aquesta habilitat [20].

- Maneig remot d'instruments sense retorn hàptic

La manca de retorn tàtil i cinestèsic limita les capacitats del cirurgià per palpar òrgans interns [16], una tècnica molt emprada per la resecció d'anatomies patològiques, com els miomes uterins. A més, aquesta barrera pot fer que el cirurgià, durant l'operació, perfori la paret interna i no se n'adoni [21].

- Punt d'accés fix i reducció del rang de moviment

L'endoscòpia implica operar amb un punt d'accés fix [22] que, tant en el cas d'orificis naturals com incisions quirúrgiques, redueix significativament el rang de moviment del professional, atesos els límits anatòmics de l'orifici o incisió. De fet, comparat amb els 36 graus de llibertat que ofereix la cirurgia oberta [23], l'endoscòpia només té 4 graus fonamentals de posicionat: (1), translació al voltant de l'eix de l'instrument; (2), rotació al voltant de l'eix de l'instrument; (3), rotació esquerra/dreta al voltant del punt d'accés; i (4), rotació endavant/endarrere al voltant del punt d'accés. No obstant això, cal tenir en compte els 2 graus addicionals d'actuació que s'obtenen amb l'ús de les pinces de l'histeroscopi: (5), el moviment de pinça en l'extrem de l'histeroscopi; i (6), el moviment generat en el mànec per fer el moviment de pinça a l'extrem. [24]. Es mostra un exemple il·lustratiu en la Figura 2.3.

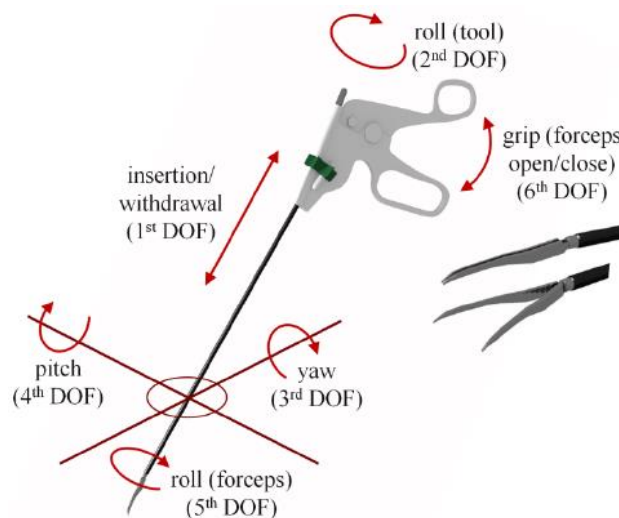


Figura 2.3. Graus de llibertat de l'instrument endoscòpic. Font: IEEE [24]

Addicionalment, les habilitats lligades a la navegació basada en imatges inclouen el requisit tècnic de mantenir un eix horitzontal correcte mentre se centra el camp operatiu i es conserva una imatge estable durant l'operació. De fet, es requereix més destresa i coneixement per a un ús correcte dels graus addicionals de llibertat que ofereix l'operació a cert angle, procediment que es realitza de forma rutinària en moltes operacions histeroscòpiques (típicament es dona a 30°) [10].

En la Figura 2.4. s'observen imatges en detall de l'endoscopi de 30º, amb una representació gràfica del camp de visió que genera la càmera.

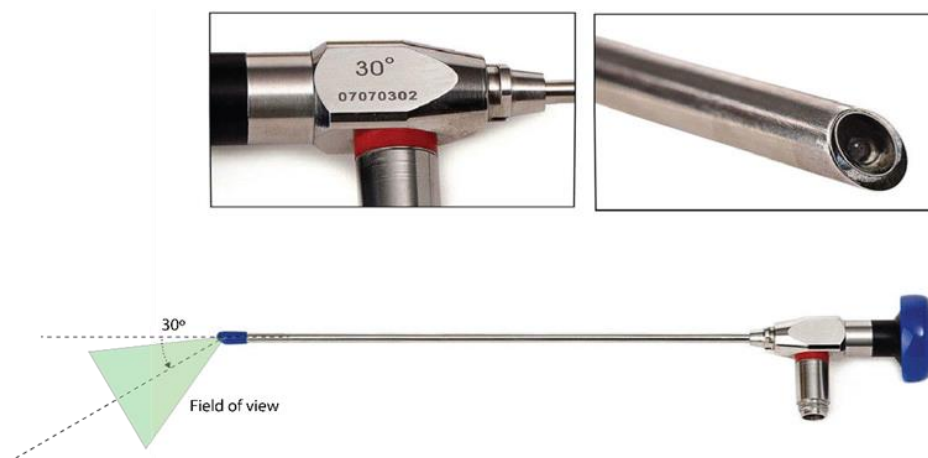


Figura 2.4. Imatges en detall de l'endoscopi de 30º. Font: eBay [55]

2.2.4. Realitat virtual

La Realitat Virtual (RV) és el terme que s'empra per descriure l'entorn tridimensional, generat per computació, on l'usuari pot explorar i interactuar a partir de la manipulació d'objectes virtualment, o bé amb la realització d'accions que alteren aquest entorn [25].

La Realitat Virtual està guanyant rellevància en el món de la salut, especialment en l'entrenament de cirurgians [26]. Els simuladors de realitat virtual tenen l'avantatge de simular entorns dinàmics amb variacions controlades per paràmetres operables, el que permet posar al cirurgià aprenent en diferents situacions perquè pugui adquirir les suficients nocions pràctiques del procediment sense involucrar pacients reals.

2.3. Objectius

L'objectiu general del treball és l'avaluació objectiva d'una plataforma d'entrenament endoscòpic, específicament histeroscòpic, mitjançant una anàlisi estadística multivariable.

Els objectius específics del treball són:

- Analitzar les dades obtingudes de la plataforma amb paràmetres estadístics compatibles amb la literatura clínica.
- Justificar amb base objectiva que la solució tecnològica de l'estudi comprèn raons suficients per substituir l'actual model d'entrenament histeroscòpic oficial a Europa.

- Fer propostes de millora viables que puguin implementar-se en versions posteriors l'entrenador.

2.4. Justificació

Necessitat de generar nous models d'entrenament en endoscòpia

Hi ha múltiples factors que han portat al fet que augmenti la demanda de nous models d'entrenament de simulació endoscòpica que siguin vàlids: el creixement exponencial de la cirurgia mínimament invasiva; la disponibilitat limitada d'hores de treball dels residents per fer esforços educatius [10]; l'insuficient enfocament actual en la formació en histeroscòpia, ja que tradicionalment s'ha considerat com l'endoscòpia més senzilla [5]; la inadequació del model d'aprenentatge tradicional (model aprenent-tutor) en la medicina moderna, ja que no és sistemàtic ni objectiu; la insuficient implementació real de models vàlids [16, 10]; l'increment de la preocupació pública i professional de la seguretat del pacient; l'augment de la preocupació ètica pel que fa a l'ús de pacients per entrenar o formar a aprenents; l'augment de la demanda en millorar la productivitat en quiròfans i en incrementar les especialitzacions quirúrgiques; i l'aparició d'estudis que demostren que la Realitat Virtual és vàlida en aquest camp de la salut [6].

Donats aquests factors, cada cop més especialistes estan d'acord en el fet que l'entrenament s'ha de fer amb mètodes efectius, factibles i vàlids i fora del quiròfan. D'aquesta manera, s'han llançat nombrosos models animals i models inanimats. Els models animals simulen l'escenari clínic, amb un alt grau de fidelitat a la realitat en la recreació de l'anatomia d'estudi (òrgan, instrumental i ergonomia). No obstant això, a causa de restriccions econòmiques i ètiques, no s'utilitzen de forma àmplia ni rutinària. Els models inanimats (com, per exemple, les plataformes d'entrenament o la Realitat Virtual) permeten un entrenament més relaxat i controlat. Les plataformes d'entrenament són relativament barates i accessibles mentre que els models de Realitat Virtual proveeixen una avaluació objectiva del procés d'aprenentatge, sent les dues opcions efectives en l'adquisició d'habilitats psicomotores en endoscòpies. A diferència dels models animals, els models inanimats tenen l'avantatge de proveir d'entrenaments en períodes llargs, resultant crucial per assegurar que s'adquireixen totes les habilitats requerides [16,10]. Addicionalment, les plataformes d'entrenament permeten la visualització i el control dels paràmetres objectius per a l'avaluació del rendiment. A més, les plataformes virtuals aporten la facilitat de realitzar l'exercici sota diferents condicions simulades (existència de sagnat, fallada de l'instrument, aparició de pòlips en llocs diferents dins el mateix exercici, etc.).

La plataforma a estudiar pretén integrar els avantatges que ofereix el suport físic amb els que ofereix el suport virtual.

Necessitat de comprovar la validesa del dispositiu

Pel que fa a la validesa, que és la capacitat d'un mètode per ensenyar o mesurar allò que es pretén ensenyar o mesurar [16], hi ha un consens que marca que una característica obligatòria de qualsevol eina d'entrenament i avaluació és la validesa de constructe (típicament conegut amb el terme anglès *construct validity*) entesa com l'habilitat dels sistemes per distingir entre diferents nivells de rendiment (principiant i expert, per exemple) [6]. En aquest estudi, s'analitzarà la validesa de constructe mitjançant les corbes d'aprenentatge dels professionals quirúrgics per determinar si l'entrenament de simulació millora l'adquisició d'habilitats histeroscòpiques del candidat atenent a l'expertesa del mateix [5].

Revisió de l'entrenament en histeroscòpia a Europa

A escala europea, els professionals mèdics poden formar-se en cirurgia ginecològica mínimament invasiva mitjançant el programa *Gynaecological Endoscopic Surgical Education and Assessment* (GESEA) [27], programa oficial de l'*European Society for Gynaecological Endoscopy* (ESGE) [28], que dota d'un diploma que certifica al professional que té coneixements i habilitats pràctiques en endoscòpia ginecològica. El programa es divideix en 3 passos: coneixement, on l'usuari pot adquirir continguts teòrics necessaris per a la pràctica mitjançant una plataforma d'e-Learning; habilitats pràctiques, on l'usuari s'entrena mitjançant els models d'entrenament acceptats per l'ESGE (que inclouen l'entrenament en laparoscòpia, sutura i en histeroscòpia); i avaluació, on l'usuari ha de demostrar les habilitats apreses en els dos primers passos assistint a un centre acreditat, sota supervisió d'un expert.

El programa consta del model d'entrenament *Hysteroscopic Skills Training and Testing* (HYSTT) per a formar en habilitats psicomotrius en histeroscòpia. Aquest model té suport físic però no virtual, tot i que el kit comercial [29] (amb un preu superior a 1000 €) disposa de dos mòduls que es poden incorporar al model físic genital femení per poder realitzar dos exercicis rellevants en aquest camp quirúrgic. A més, només es pot registrar el temps, mitjançant un cronòmetre inclòs al kit. No es pot donar validesa a la duració de la intervenció com a paràmetre únic [30] i, de fet, la rapidesa en l'operació no implica un millor rendiment clínic del professional, ja que un excés de velocitat pot incrementar el risc de provocar danys en la zona anatòmica. De fet, només amb el temps no és possible mesurar si el cirurgià aprenent ha desplaçat l'instrument per vies de risc dins el model uterí o si ha anat als llocs objectiu de l'exercici. Per tant, a causa de no disposar de suficients paràmetres, l'avaluació requereix un expert que comprovi que l'usuari està desenvolupant els exercicis de forma correcta; i així, inevitablement, no s'aconsegueix una valoració objectiva.

El model d'entrenament del present estudi s'ha desenvolupat amb l'objectiu de substituir el model actual del programa GESEA, per les característiques que ofereix:

- El dispositiu és capaç de recollir dades de posició i orientació en el temps i, mitjançant els paràmetres estadístics pertinents, permet no només l'entrenament de l'usuari, sinó també una avaluació objectiva multivariable.
- El suport virtual de l'eina proveeix gran potencial pel que fa a la generació de diferents escenaris dins del mateix procés d'entrenament de l'usuari sense la necessitat d'adquirir excessius mòduls secundaris i, conseqüentment, abaratint el cost de l'equip i fungible.

Revisió de la competència

VirtaMed [31] va desenvolupar l'*HystSim* (Figura 2.5), una plataforma d'entrenament histeroscòpica amb suport de Realitat Virtual. La plataforma consta essencialment d'un histeroscopi i un ordinador portàtil que, mitjançant realitat virtual, permet visualitzar l'interior del model uterí i la pràctica en la resecció de pòlips i miomes. L'entrenador, a més, registra dades psicomotrius i de maneig, donant una puntuació final estandarditzada. Un estudi publicat a la revista *Surgical Endoscopy* [32] va avaluar la plataforma involucrant un total de 39 participants o usuaris. Com a punt a destacar, l'autor extreu que un gran avantatge del dispositiu és el retorn de la puntuació total de l'usuari un cop acaba la sessió d'entrenament; ja que es dona importància al fet que el cirurgià, després de cada repetició, pugui comprovar quin ha estat el seu rendiment i la seva evolució. Un altre avantatge, que coincideix amb l'objecte del present treball, és que practicar amb la realitat virtual proveeix d'habilitats psicomotrius histeroscòpiques bàsiques i el control de diferents escenaris possibles en el camp, com la resecció de miomes o pòlips, sense posar cap pacient en risc. A més, l'equipament físic com les bombes d'irrigació no són necessaris, reduint el pressupost. Com a desavantatge, l'autor considera que com a dispositiu de suport virtual, es nota la manca en el retorn tàctil de la cavitat de l'úter i cèrvix.



Figura 2.5. *HystSim* de la companyia suïssa *VirtaMed*. Font: Virtamed [31]

VirtaMed va llançar recentment el producte *GynoS* [33], una plataforma d'entrenament ginecològica que integra l'ecografia uterina, la inserció del DIU, la transferència d'embrions i finalment la histeroscòpia (absorbint el seu propi producte *Hystsim*). És un producte que permet l'ús d'instruments mèdics originals i proveeix un suport virtual i físic, amb un model molt fidel en l'àmbit cosmètic i fisiològic.

3D Systems [34] va desenvolupar el *Simbionix HYST Mentor* (Figura 2.6.), una plataforma semblant a l'*HystSim*, de suport virtual, que segons el web comercial proveeix d'una simulació realista pel que fa a la visualització interna i complicacions possibles: permet la pràctica en la detecció i coagulació de fonts de sagnat, en el maneig de fluids de distensió, en la reacció davant la perforació en la paret uterina i la possibilitat de generar escenaris de sagnat, perforació i altres escenaris d'emergència (fallada de l'instrument, desbordament del fluid, etc.). A més, el dispositiu proveeix no només dades objectives psicomotrius (posició, orientació i temps) del rendiment del professional, sinó també estadístics de comparació de rendiment aplicables individualment (en un únic usuari) o en grup que poden utilitzar-se en posteriors estudis científics.



Figura 2.6. *Symbionix HYST Mentor* de la companyia estatunidenca 3D Systems. Font: 3D Systems [34]

Tant en el cas del producte *Symbionix HYST Mentor* com amb l'*Hystsim*, o bé no s'obté el retorn hàptic del model anatòmic genital femení (en el cas d'*Hystsim*) o bé no es disposa d'un model físic que permeti aconseguir tant una simulació realista cosmèticament com una delimitació física de l'espai anatòmic operable (en ambdós casos). Per altra banda, el producte *GynoS* sí que aporta suport físic i virtual, però cal fer balanç entre les especialitats ginecològiques amb les quals interessa formar al cirurgià i el preu final del dispositiu; ja que probablement el producte ofereixi excessives solucions tecnològiques que justificarien un cost elevat.

2.5. Abast

El projecte busca convertir-se, més enllà de ser un treball de fi de grau, en una iniciativa de metodologia vàlida per analitzar i avaluar l'objecte específic del treball. Es realitzarà a partir d'una anàlisi estadística multivariable mitjançant les dades obtingudes del dispositiu. Es pretén comprovar la validesa de l'aparell analitzant amb detall les corbes d'aprenentatge dels diferents usuaris coneixent a priori quin és el seu nivell d'expertesa. Aquesta anàlisi té el propòsit d'avaluar la plataforma d'entrenament, tot proposant possibles millores, però també tractarà d'analitzar si seria possible transportar aquesta idea de model d'entrenament a qualsevol especialitat endoscòpica.

Per poder complir amb els objectius del treball, primer és necessari revisar la literatura que envolta l'entrenador (en l'àmbit mèdic, tècnic i quin és l'estat de l'art) i els mètodes emprats per analitzar i

avaluar el mateix, que estaran relacionats amb l'anàlisi de dades multivariable. S'estudiarà l'impacte ambiental i el pressupost del projecte.

Després de revisar la literatura i un cop es disposi de les dades del dispositiu, s'iniciarà el procediment internament anomenat com TD ("Treball de Dades"). Aquest procés es divideix en 5 fases:

- TD1. Organització de les dades. El volum de les dades que s'obtindrà a l'inici del projecte serà elevat i caldrà, abans d'intentar bolcar la informació al programari MATLAB, dedicar temps a dissenyar una estructuració que permeti un fàcil accés i també a investigar i entendre quina informació es pot extreure.
- TD2. Inclusió i gestió de les dades al programari MATLAB. MATLAB té certes limitacions en les estructures de les dades que suporta i, per tant, serà necessari adequar el disseny d'estructuració fet prèviament a les característiques i necessitats del programa per, no només facilitar l'accés a les dades, sinó també evitar la creació posterior d'algoritmes o programes amb un codi excessivament complex. Es crearan funcions que permetran la lectura dels arxius de dades i, de forma automàtica, la generació d'una base de dades per tal de facilitar el disseny de posteriors funcions.
- TD3. Disseny de paràmetres estadístics. S'empraran diferents paràmetres estadístics comuns en la literatura clínica que s'utilitzaran de forma holística en la posterior anàlisi estadística multivariable. Els paràmetres, explicats amb detall en l'apartat següent, són els següents:
 - TD3.1. Exactitud
 - TD3.2. Economia de moviment
 - TD3.3. Temps d'intervenció
 - TD3.4. Velocitat d'operació
- TD4. Anàlisi estadística multivariable (Resultats). Es farà l'anàlisi amb els paràmetres estudiats.
- TD5. Avaluació de la plataforma d'entrenament (Discussió). Es discutiran els resultats obtinguts i es justificarà i avaluarà l'entrenador com a plataforma d'entrenament i avaluació en tècniques endoscòpiques.

Finalment, i un cop assolits els objectius del treball, es redactaran les conclusions analitzant la rellevància i impacte futur esperat de l'estudi.

La duració del projecte serà de 4 mesos, i la dedicació d'un es 600 hores (incloent-hi la defensa).



3. Materials i mètodes

3.1. Subjectes

En l'estudi han participat un total de 82 subjectes involucrant estudiants de medicina, residents i cirurgians especialitzats en ginecologia. Els subjectes van ser reclutats de l'Hospital de Sant Pau (57), de l'Hospital d'Igualada (13) i de l'Hospital UZ Leuven de Bèlgica (12).

S'ha dividit la mostra en dos grups, atesa la seva experiència histeroscòpica, per comparar les seves diferències en el seu rendiment quirúrgic.

El grup principiant (61) estava format per estudiants i residents amb una experiència no superior a les 25 histeroscòpies. Anàlogament, el grup expert (21) era compost per cirurgians amb una experiència superior a les 25 histeroscòpies.

De l'Hospital de Sant Pau s'havien reclutat 22 estudiants, 16 residents i 19 cirurgians ginecòlegs; de l'Hospital d'Igualada 4 residents i 9 cirurgians ginecòlegs; i de l'Hospital UZ Leuven s'han reclutat 12 subjectes però no es tenen dades concretes.

Pel que fa a l'expertesa, el grup principiant abastava 45 subjectes de l'Hospital de Sant Pau, 6 de l'Hospital d'Igualada i 10 de l'Hospital UZ Leuven. Per altra banda, el grup expert comprenia 12 subjectes de l'Hospital de Sant Pau, 7 de l'Hospital d'Igualada i 2 de l'Hospital UZ Leuven. En els diagrames de la Figura 3.1 es mostra l'expertesa dels subjectes en detall.

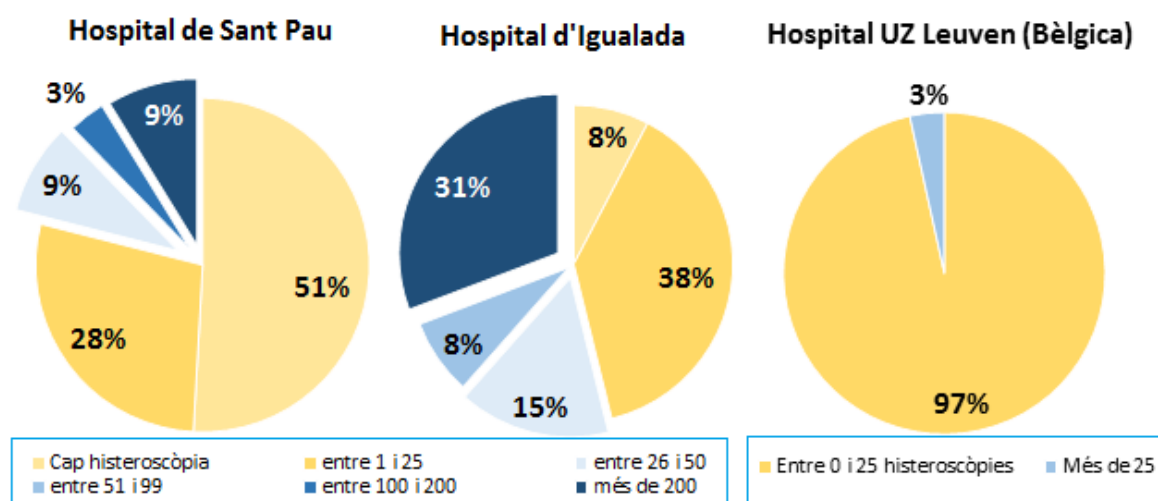


Figura 3.1. Distribució dels participants en l'estudi segons el grau d'expertesa.

3.2. Plataforma d'entrenament

3.2.1. Entorn hardware

L'*EndoTrainer* és un dispositiu de formació i avaluació en tècniques endoscòpiques. Amb el mòdul específic de ginecologia constitueix l'*HysTrainer* (Figura 2.1.), dedicat a l'entrenament en histeroscòpia. Dissenyat de forma modular, consta d'una base que conté un PC i l'electrònica de control necessària per oferir a l'usuari la interfície d'usuari, sistema de gravació i anàlisi de dades, un braç passiu que s'acoba a l'endoscopi per mesurar la posició i orientació d'aquest, una font de llum i un allotjament per encabir i establir comunicació amb els diferents mòduls d'exercicis.

Cada exercici està dissenyat com a un mòdul individual amb una via o orifici d'entrada, un punt de pivot i un òrgan intern. Per ginecologia, la plataforma *HysTrainer* consta d'un conjunt d'entrada vulva-vagina, un punt de pivot (cèrvix) i una cavitat central que representa el volum intern de l'úter. El model anatòmic es pot observar en la Figura 3.2. Cada mòdul conté l'electrònica necessària per gestionar la comunicació amb la base, els sensors necessaris per avaluar l'exercici (en el cas avaluat, H1x), un sensor de presència dins el cèrvix per controlar l'entrada i sortida de l'instrument de l'úter (inici i final de l'exercici respectivament) i, finalment, un conjunt d'actuadors necessaris per a l'exercici (per H1x, llums LED circulars de llum blanca i difusa).

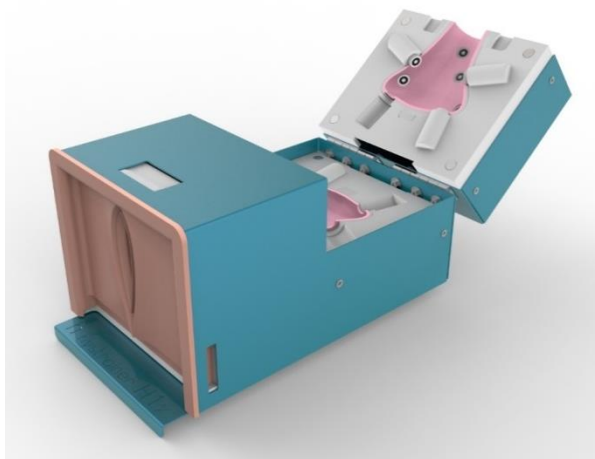


Figura 3.2. Model genital femení per a la plataforma *HysTrainer*, dissenyat per a la pràctica histeroscòpica diagnòstica (H1x)

L'equip llegeix paràmetres corresponents a aspectes psicomotrius cada 64 ms, aproximadament, el que permet monitoritzar tots els moviments realitzats durant l'exercici, incloent-hi moviments d'alta freqüència com tremolors, per exemple.

L'exercici que s'avalua en el projecte és la navegació per càmera (H11), que forma part del conjunt d'exercicis d'histeroscòpia diagnòstica (H1x). L'entitat que desenvolupa el producte també ha dissenyat altres models genitals vàlids per a la histeroscòpia operativa (Figura 3.3.A), que inclou l'extracció de pòlips simulats, i també per citoscòpia (Figura 3.3.B).

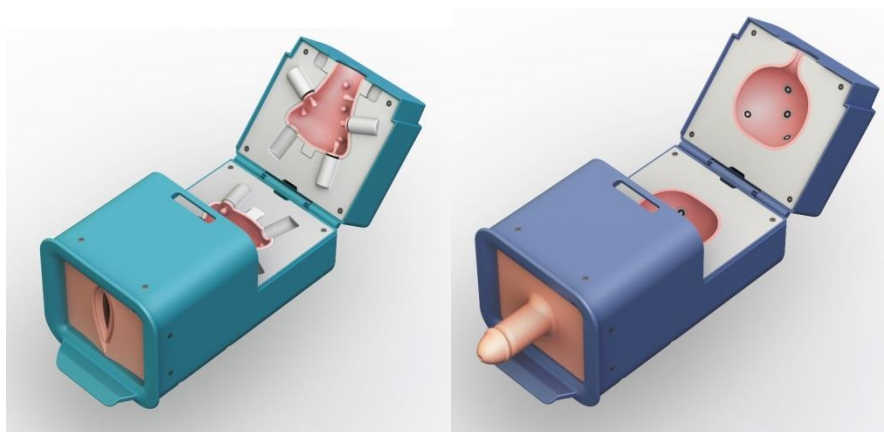


Figura 3.3. A (esquerra): model genital femení dissenyat per a la pràctica histeroscòpica diagnòstica (H1x) i B (dreta): model genital masculí dissenyat per a la pràctica citoscòpica diagnòstica (C1x).

3.2.2. Exercici i condicions d'entrenament

Els subjectes havien de realitzar l'exercici H11 d'histeroscòpia diagnòstica amb la plataforma d'entrenament. Específicament, la prova de simulació permetia l'entrenament en navegació per càmera dins la cavitat uterina amb una òptica de 30°.

L'usuari, assegut a una cadira, es col·locava davant de la plataforma *HysTrainer*. Previ a l'inici de l'exercici, l'usuari tenia a la seva disposició un mòdul d'instruccions per conèixer la manera correcta en la qual cal agafar l'histeroscopi i, en general, com cal abordar l'exercici. L'usuari agafava l'histeroscopi, l'introduïa dins el cervix del model genital femení i començava l'exercici. A través de la pantalla, tal com es pot observar en la Figura 3.4., l'usuari contemplava l'entorn a partir de la imatge generada per la càmera localitzada en l'instrument. A més d'aquesta informació, en la pantalla l'usuari podia veure el temps transcorregut en segons, un mapa del model anatòmic i les coordenades de posició i orientació instantànies de l'histeroscopi. El mapa del model anatòmic destacava el punt objectiu de la paret uterina que calia visualitzar amb l'instrument. Aquest objectiu, també anomenat *target*, simulava un dels punts anatòmics característics en histeroscòpia diagnòstica. L'usuari havia d'abordar els 10 punts objectiu col·locats en diferents llocs de la paret

uterina i tenint en compte l'ordre que marcava la plataforma. Aquest és l'exercici H11, que l'incorpora l'ESGE en el seu programa formatiu i acreditatiu.

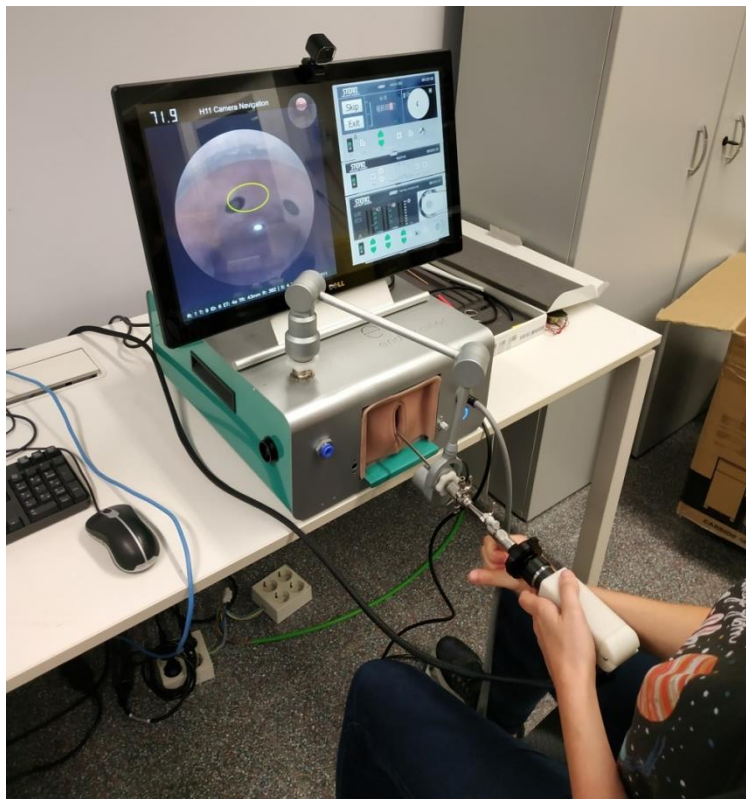


Figura 3.4. Usuari emprant el dispositiu *HysTrainer* per realitzar l'exercici H11

L'usuari havia de controlar la càmera de tal manera que l'el·lipse dibuixada a la pantalla quedés superposada amb l'objectiu corresponent tal com s'observa en la Figura 3.5. Per obtenir una precisió màxima, la coincidència entre l'el·lipse i el punt objectiu havia de ser màxima (tant en posició com orientació). Un cop l'el·lipse es col·locava a sobre del punt objectiu, l'usuari premia un pedal situat sota de la plataforma, a l'altura del peu de l'usuari. Aquest pedal permetia registrar les diferències en posició de l'objectiu actual i la posició de l'instrument just en l'instant en el qual l'usuari prem el pedal, per a la posterior avaluació de la precisió d'aquest moviment. Alhora, prémer el pedal també permetia que es donés pas al següent punt objectiu. D'aquesta manera, l'usuari es desplaçava cap a la zona del següent objectiu i realitzava de nou l'operació descrita. Successivament, l'usuari repetia aquests passos pels 10 objectius.

El subjecte tenia 3 minuts per finalitzar l'exercici; si el temps s'esgotava, l'intent es donava per finalitzat independentment de no haver tingut suficient temps per observar tots els objectius. De fet, si l'usuari emprava més de 18 segons sense abordar l'objectiu actual, el dispositiu passava automàticament al següent de manera que el nombre final d'objectius intentats ja no podia ser 10.



Figura 3.5. Visualització de la imatge generada per la càmera de l'histeroscopi durant l'exercici H11. L'el·lipse groga havia d'emmarcar-se dins l'anella negra que encercla el llum LED (punt objectiu)

Un cop l'usuari finalitzava l'exercici, aquest podia veure quin havia estat el seu rendiment (tant en l'exercici que acabava de realitzar com l'evolució respecte a anteriors repeticions). El rendiment es podia veure reflectit a partir de diferents paràmetres, com la precisió en l'abordament dels punts objectiu, l'economia de moviment i el temps transcorregut. En la Figura 3.6. es pot observar un exemple.

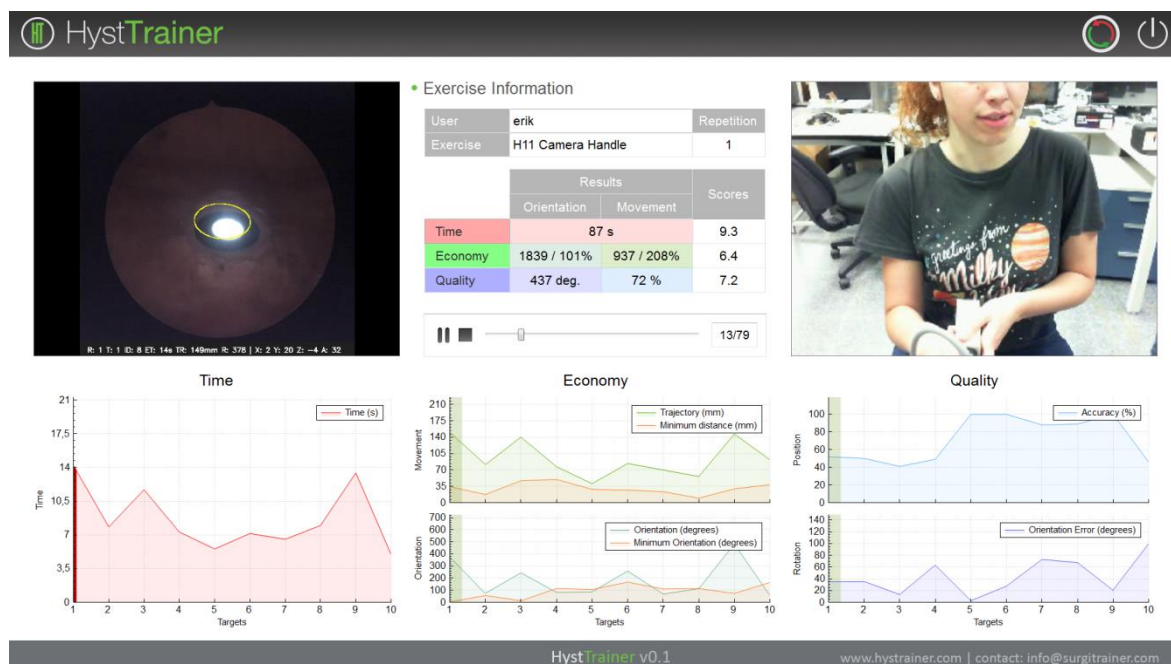


Figura 3.6. Panell de resultats, mostrat posteriorment a l'execució de l'exercici H11.

El subjecte havia de realitzar l'exercici 30 vegades, amb el propòsit posterior d'observar la corba d'aprenentatge generada i poder analitzar correctament l'efecte de l'entrenament en el rendiment histeroscòpic.

3.2.3. Enregistrament de paràmetres psicomotrius

Els paràmetres psicomotrius, com la posició o l'orientació en l'espai, es registren amb el propòsit de calcular certes variables que permetin una posterior avaluació del rendiment del subjecte. El rendiment pot ser definit per un conjunt de variables que inclouen la precisió de l'usuari en posicionar la càmera de l'instrument a sobre del punt objectiu, l'economia de moviments en translació i rotació, el temps per realitzar l'exercici, entre altres. En l'escenari del present treball no es té constància de cap criteri professional per classificar els rendiments obtinguts, ni per definir si el rendiment d'un usuari és suficientment positiu com per donar l'aprobat pràctic professional. Com a evolutiu del projecte, l'ESGE, conjuntament amb *SurgiTrainer*, estudiarà els valors mínims de cadascun dels criteris per donar el certificat que acredita la suficiència pràctica. Malgrat que actualment no es disposi d'aquesta informació, és evident que es valorarà més positivament una precisió i una economia de moviment major, per exemple, ja que es redueix el risc de perforacions de forma proporcional.

La capacitat psicomotriu es defineix com el potencial relativament innat per adquirir, mitjançant la pràctica, habilitats psicomotrius (destresa manual, equilibri, velocitat amb les extremitats, etc.). Típicament, es sol relacionar amb el funcionament motor fi i gruixut d'un subjecte. [54] En l'estudi, aquestes habilitats es poden quantificar si es tradueixen a partir de dades d'espai i temps de l'instrument que empra l'usuari.

En la Taula 3.1. es presenten algunes de les dades que llegia la plataforma en els instants on es donava el posicionament de l'instrument a sobre dels diferents objectius, des del primer fins a l'últim. Aquestes s'han etiquetat com a dades generals.

Dades inicials generals	Magnitud	Descripció
TargetId	enter (0-9)	ID de l'objectiu T (10 en total)
TargetX,Y,Z	mm	Coordenades de posició de l'objectiu T en l'eix X, Y i Z, respectivament
TargetOrientation	º	Orientació de l'objectiu T
TimeStamp	ms	Duració des del canvi d'objectiu anterior (o des de l'inici de l'exercici en cas que no s'hagi produït encara cap canvi) fins que es produeix el canvi de l'objectiu T
ToolX,Y,Z	mm	Coordenades de posició de l'instrument en l'eix X,Y i Z en l'instant on es canvia l'objectiu T
ToolOrientation	º	Orientació de l'instrument en l'instant on es canvia l'objectiu T

Taula 3.1. Paràmetres psicomotrius generals llegits per l'*HysTrainer*

L'*HysTrainer* també registrava dades de forma contínua en el temps (amb una freqüència d'uns 64 ms) com els que es presenten a la Taula 3.2. En el projecte, reben el nom de dades de registre.

Dades inicials de registre	Magnitud	Descripció
SampleTime	ms	Instant de temps t
CurrentTargetId	enter (0-9)	Objectiu actual (T) en l'instant t
ToolOutIn	0/1	0: l'instrument es troba fora de l'úter, 1: l'instrument es troba dins de l'úter; en l'instant t
POSEToolX,Y,Z	mm	Coordenades de posició de l'instrument en l'eix X,Y,Z en l'instant t
POSEToolRot	º	Orientació de l'instrument en l'instant t

Taula 3.2. Paràmetres psicomotrius de registre de l'*HysTrainer*

3.3. Estadística

3.3.1. Estadística multivariable

A continuació es plantejaran els diferents paràmetres estadístics que s'utilitzaran per avaluar el rendiment de l'usuari en la seva pràctica histeroscòpica simulada al llarg de les 30 repeticions, amb l'objectiu de visualitzar la corba d'aprenentatge generada.

Els paràmetres estadístics han estat escollits a partir d'una recerca prèvia en literatura relacionada. Per una banda, el temps d'intervenció o la distància recorreguda amb l'instrument són paràmetres que no són d'obtenció complexa tècnicament. Per altra banda, aquests paràmetres són àmpliament utilitzats en l'avaluació del rendiment endoscòpic dels aprenents perquè són fàcils de transportar a la mesura del risc de complicacions derivades; sent un criteri fonamental en el sector quirúrgic.

Els paràmetres estadístics seran un conjunt de variables que per si sols, generalment, no seran suficientment vàlids per determinar l'existència de millora (o empitjorament) en el rendiment de l'usuari en el pas d'un intent al següent. El temps transcorregut, o la distància recorreguda amb l'instrument són paràmetres relacionats amb el rendiment però que requereixen paràmetres estadístics complementaris per generar conclusions més robustes. És necessari, per tant, l'anàlisi de dades multivariable. Mackay va observar que el procés d'avaluació en habilitats tècniques és més robust si els participants es posen a prova amb múltiples paràmetres [35].

L'anàlisi de dades multivariable [36] és el concepte estadístic que inclou l'observació i anàlisi de més d'una variable estadística al mateix temps. L'anàlisi multivariable sol comportar un gran volum de dades i, per tant, sol ser necessari l'ús de *software* específic que sigui capaç de llegir-les i analitzar-les. Les tècniques d'anàlisi multivariable s'utilitzen principalment per a portar a terme agrupacions d'una mostra inicial donada atenent a les particularitats i diferències en un o múltiples factors (més conegut com a clusterització). Per altra banda, i en la línia d'aquest projecte, l'anàlisi multivariable també es dona per realitzar processos comparatius entre dos o més mostres amb l'objectiu de validar que existeixen diferències (o en el cas contrari, similituds) amb base estadística.

3.3.2. Paràmetres estadístics d'avaluació del rendiment

3.3.2.1. Exactitud

L'exactitud [37] es pot definir com el grau de coincidència entre un conjunt de dades i un altre. En l'espai, per tant, serà el grau de coincidència entre les dades de posició (en les coordenades X, Y i Z) i d'orientació del cos A respecte les dades del cos B. Des del punt de vista de l'anàlisi del rendiment, una exactitud elevada és equivalent a un bon rendiment histeroscòpic; doncs deixa constància que el

professional té un alt control dels seus moviments reduint el risc de perforacions. L'exactitud es pot desglossar en dues variables:

- Exactitud en posició

L'exactitud en posició (A^{pos}) pot calcular-se analíticament com el grau d'aparellament entre les coordenades X, Y i Z del punt objectiu (*Target*) i les de l'instrument en l'instant on es produeix el canvi d'objectiu.

$$A^{pos}(\%) = \left(1 - \sum_{A=1}^3 \frac{1}{3} \cdot \frac{|TargetA - ToolA|}{Límit} \right) \cdot 100 \quad (\text{Eq. 3.1})$$

On $A = \{X, Y, Z\}$; i *Límit* és el valor de longitud referència que, en cas que alguna de les diferències en posició el superi, el resultat final de l'exactitud serà 0.

- Exactitud en orientació

L'exactitud en orientació (A^{or}) pot definir-se com el grau de similitud entre els angles que formen el punt objectiu i l'instrument respecte a una referència en l'instant on es produeix el canvi d'objectiu. En el cas de l'orientació, el límit acceptat depèn del tipus d'objectiu, ja que alguns se situen en zones més complicades d'accedir amb l'instrument a causa del baix rang de moviment permès (per exemple, en els laterals de l'úter).

$$A^{or}(\%) = \left(1 - \frac{\min(|ToolOrientation - L_{inf}|, |L_{sup} - ToolOrientation|)}{360 - (L_{sup} - L_{inf})} \right) \cdot 100 \quad (\text{Eq. 3.2})$$

On L_{inf} i L_{sup} són els límits angulars inferior i superior, respectivament, que venen donats segons la zona on es troba l'objectiu (pot ser d'accés senzill o complex). En cas que l'orientació de l'instrument (*ToolOrientation*) es localitzi dins d'aquest rang el resultat final de l'exactitud en orientació serà del 100%.

L'exactitud també es pot donar d'una forma global:

L'exactitud global (A^g) es pot calcular atribuint un pes equitatiu a les dues variables anteriorment descrites, l'exactitud en posició i en orientació.

$$A^g(\%) = \frac{1}{2} \cdot (A^{pos}(\%) + A^{or}(\%)) / A^g = 0 \Leftrightarrow A^{pos} = 0 \quad (\text{Eq. 3.3})$$

En el cas de l'exactitud, tant en posició com en orientació, per poder donar un valor únic per a cada repetició es calcula la mitjana aritmètica dels valors d'exactitud obtinguts de cada objectiu.

3.3.2.2. Economia de moviment

L'economia de moviment és el concepte que descriu l'ús de moviments eficients per optimitzar el resultat, és a dir, emprar el mínim esforç per obtenir el millor resultat. Pel que fa a l'avaluació del rendiment, generalment una major economia de moviment es tradueix a un major rendiment histeroscòpic; ja que moviments globals més curts disminueixen el risc de perforacions. No obstant això, per poder avaluar el rendiment cal atendre a paràmetres estadístics complementaris, ja que, per exemple, un subjecte pot dibuixar una trajectòria amb una baixa economia de moviment però que es manté sempre lluny de les parets internes de l'úter, assegurant un baix risc de perforació.

Tenint en compte que el moviment es pot dividir en translació i rotació, l'economia de moviment s'analitzarà a partir de dues variables:

- Distància total recorreguda

S'observa la distància total que fa l'usuari amb l'instrument des de l'inici de l'exercici fins al final. Per extreure aquest valor, es calcula el sumatori de la diferència entre les posicions instantànies en l'eix X, Y, Z de l'instrument en els instants t i $t-1$ per a tot el transcurs de l'exercici.

$$Dist(mm) = \sum_{t=1}^{data} \sum_{A=1}^3 |POSEToolA_t - POSEToolA_{t-1}| \quad (\text{Eq. 3.4})$$

On $A = \{X, Y, Z\}$; i *data* és el nombre de vegades que l'*HysTrainer* llegeix dades psicomotrius.

- Rotació total acumulada

Addicionalment, s'analitza la rotació total acumulada que fa l'usuari amb l'histeroscopi. Per fer-ho, es calcula la diferència entre les orientacions instantànies de l'instrument en els instants t i $t-1$.

$$Rot(^{\circ}) = \sum_{t=1}^{data} |POSEToolRot_t - POSEToolRot_{t-1}| \quad (\text{Eq. 3.5})$$

On $A = \{X, Y, Z\}$; i *data* és el nombre de vegades que l'*HysTrainer* llegeix dades psicomotrius.

3.3.2.3. Temps d'intervenció

El temps d'intervenció és el temps que empra el subjecte en finalitzar l'exercici, que per defecte estava limitat superiorment a 3 minuts. Un temps alt no ha d'implicar exclusivament un rendiment histeroscòpic baix; ja que com en el cas d'economia de moviment el subjecte pot preferir disminuir la velocitat d'operació per millorar el control i la precisió dels seus moviments. Cal, per tant, observar variables complementàries.

- Temps d'intervenció

El temps que tarda el subjecte a realitzar l'exercici s'obté de forma directa visualitzant l'últim registre d'instant de temps. Per obtenir el valor en segons, cal multiplicar el factor de conversió adient:

$$Time(s) = SampleTime_t \cdot 1000 \quad (\text{Eq. 3.6})$$

On t és l'instant final de l'exercici.

3.3.2.4. Velocitat d'operació

La velocitat [38] es defineix analíticament com la ràtio entre la distància recorreguda entre A i B i el temps emprat, tal com s'observa en l'equació 3.7. L'experiència pot portar a augmentar la velocitat d'operació a causa de la millora de l'autoconfiança en l'execució del procediment quirúrgic. No obstant això, una excessiva velocitat implica un alt risc de perforació.

$$V(mm/s) = \frac{\sum_{A=1}^3 |POSEToolA_t - POSEToolA_{t-1}|}{t - t_{-1}} \quad (\text{Eq. 3.7})$$

En el present treball se subdivideix el paràmetre de la velocitat en tres variables:

- Velocitat màxima en els instants de canvi d'objectiu

Se sospita que en el moment en el qual es canvia l'objectiu el subjecte podria tendir a augmentar la seva velocitat amb l'instrument per desplaçar-se més ràpidament cap al següent. Per investigar aquest fet, s'observa quina és la velocitat màxima assolida en aquests instants de temps (es contemplen els períodes compresos entre els instants on l'usuari prem

el pedal per marcar un punt objectiu i els instants on l'usuari prem novament per abordar el següent)

- Velocitat mitjana en els instants de canvi d'objectiu

En la mateixa línia que la variable anterior, per tal d'extreure més informació s'observa la velocitat mitjana assolida per comparar-la amb la velocitat mitjana general, que s'especifica seguidament.

- Velocitat mitjana global

Com una altra variable a investigar i també com a referència de la variable anterior, s'observa quina és la velocitat mitjana global d'operació del subjecte.

MATLAB

MATLAB [39] és un sistema d'anàlisi numèric que ofereix un entorn de desenvolupament integrat (IDE) amb un llenguatge de programació propi (llenguatge M). Entre altres prestacions bàsiques, MATLAB ofereix la manipulació de matrius, representació de dades i implementació d'algoritmes. Incorpora múltiples *toolboxes*, és a dir, paquets d'eines que són específiques per determinats camps de treball (com el paquet d'eines d'anàlisi de senyals, d'anàlisi d'imatges, de regressió de corbes, etc.) que inclouen l'*Statistics and Machine Learning Toolbox* [40], que proporciona funcions per a descriure, analitzar i modelitzar dades.

En el projecte, per a tot el procés d'anàlisi estadística s'emprarà el MATLAB i el paquet d'eines *Statistics and Machine Learning Toolbox*.

3.3.3. Eines i mètodes d'anàlisi estadística

3.3.3.1. Mitjana aritmètica

La mitjana aritmètica (\bar{x}) és el valor central d'un conjunt de valors discrets (x_1, x_2, \dots, x_n) o, específicament, la suma de tots els valors d'un conjunt dividida per la mida del grup (n) [41]

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \quad (\text{Eq. 3.8})$$

Pel fet de tenir un gran volum de dades, en molts casos serà convenient treballar amb valors de mitjana i evitar l'ús de valors individuals.

3.3.3.2. Anàlisi estadística de potència

Els valors resultants de l'aplicació dels diferents paràmetres seran analitzats per determinar la mida de la mostra mínima. Per fer-ho, es portarà a terme una anàlisi creuada de potència.

L'anàlisi de potència [42] està directament relacionada amb el contrast d'hipòtesis. Aquest tipus de proves poden provocar dos tipus d'errors [43]: l'error Tipus I (o fals positiu, quan l'investigador erra rebutjant la hipòtesi nul·la) i error Tipus II (o fals negatiu, quan l'investigador erra acceptant la hipòtesi nul·la). La Figura 3.7 mostra una representació gràfica d'aquest fenomen.

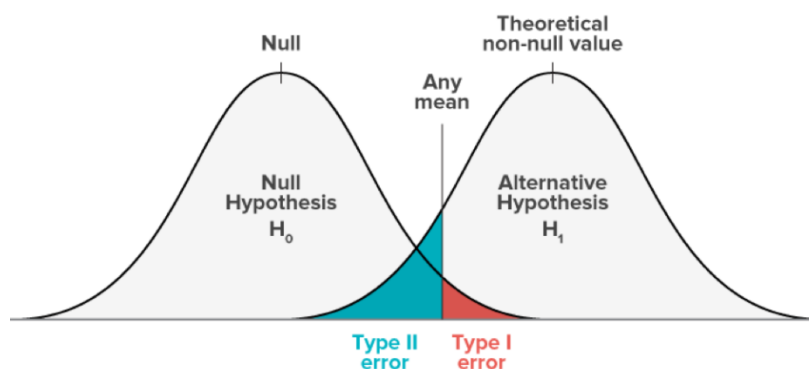


Figura 3.7. Representació dels valors de probabilitat d'un error tipus II (en blau) i d'un error tipus I (en vermell).

Font: Wikipedia [43]

Amb una mida de mostra suficientment gran és possible obtenir un nivell de significança adient (típicament s'accepta el 95%) o, amb altres paraules, una potència o poder suficient per fer conclusions robustes, amb un elevat percentatge de confiança.

El principal propòsit de l'anàlisi de potència és ajudar a l'investigador a determinar la mida de la mostra mínima per detectar l'efecte de la prova a estudiar amb el desitjat nivell de significança.

La funció *sampsizepwr* de MATLAB [44] permet computar la mida de la mostra necessària per obtenir una potència en particular, per a una prova de contrast d'hipòtesis. Es calcularà la mida mínima de cada un dels paràmetres dissenyats en el projecte per a una potència del 95%.

3.3.3.3. Mann-Whitney U-test

Per a poder fer l'anàlisi estadístic multivariable i poder comprovar la validesa de constructe (existència de diferències significatives en el rendiment entre el grup expert i el grup principiant) i l'efecte de l'entrenament en el rendiment (comparació entre la repetició número 1 i la número 30),

s'utilitzarà el Mann-Whitney U-test (també conegut com a *U-test*) [45]; estudis semblants han emprat aquesta metodologia [32,46,47].

En la literatura, el primer intent no es té en compte perquè es creu que el principal propòsit és que els subjectes s'acostumin a la simulació [32]. No obstant això, es planteja la importància de registrar el primer contacte amb el dispositiu perquè és el punt de partida absolut d'un alumne i condueix a què tots els participants estiguin a les mateixes condicions.

L'*U-test*, que és una alternativa vàlida similar al *t-test* (distribució t-student), és una prova no paramètrica aplicada a dues mostres independents (experts i principiants) que s'utilitza per comprovar la seva heterogeneïtat. El plantejament inicial és el següent: [45]

1. Les observacions d'ambdós grups són independents.
2. Les observacions són variables ordinals o continues.
3. Sota la hipòtesi nul·la (H_0), la distribució de partida d'ambdós grups és la mateixa
4. Sota la hipòtesi alternativa (H_1), els valors d'una de les mostres tendeixen a excedir els de l'altre.

El test és consistent quan, sota H_1 , la probabilitat que una observació de la població A superi una observació de la població B és diferent (més gran o més petita) que la probabilitat que una observació de B superi una observació de A. [45]

Aquesta diferència entre probabilitats es pot quantificar per tal de definir si existeixen diferències significatives entre els dos grups de dades. Per fer-ho, en primer lloc cal calcular l'estadístic *U* [48,49]:

$$U1 = R1 - \frac{n1(n1 + 1)}{2} \quad (\text{Eq. 3.9})$$

$$U2 = R2 - \frac{n2(n2 + 1)}{2} \quad (\text{Eq. 3.10})$$

$$U = \min(U1, U2) \quad (\text{Eq. 3.11})$$

On $R1$ i $R2$ és la suma dels rangs de les observacions de les mostres 1 i 2 respectivament; i $n1$ i $n2$ és la mida de les mostres 1 i 2.

Un cop s'obté el valor de *U*, es procedeix a buscar el *p-value* que, típicament, valors iguals o per sota de 0,05 indiquen l'existència de diferències significatives entre dos conjunts de dades.

Malgrat tenir mostres suficients per utilitzar el t-test, en el present treball s'ha decidit emprar l'U-test perquè, a diferència de la primera, aquest procediment no requereix que les dades segueixin distribucions normals.

3.3.3.4. Corba d'aprenentatge

La corba d'aprenentatge és la representació gràfica de com l'increment en aprenentatge (eix vertical) s'origina per l'experiència (eix horitzontal). Bàsicament, amb la corba d'aprenentatge es vol demostrar que a mesura que un subjecte repeteix una tasca determinada, el seu rendiment millora [50]. Pot observar-se una representació gràfica en la Figura 3.9.

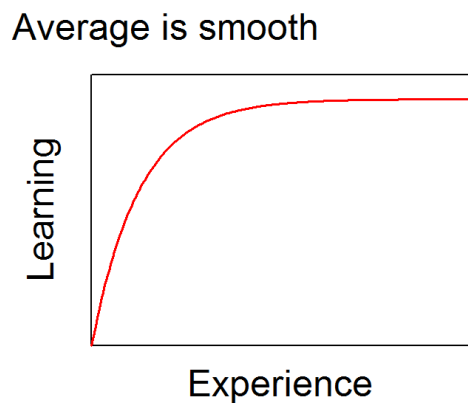


Figura 3.8. Corba d'aprenentatge teòrica (Font: Wikipedia [50])

La corba d'aprenentatge s'utilitzarà en el projecte per mostrar de forma gràfica el que es pretén mostrar analíticament mitjançant el Mann-Whitney U-test, és a dir, mostrar l'efecte de l'entrenament en el rendiment i l'existència de diferències en el rendiment entre el grup expert i el grup principiant.

L'investigador Aleb Bikfalvi va desenvolupar la funció *Advanced Box Plot* (o *aboxplot*) [51], una funció de MATLAB que permet representar les dades en diagrames de caixa amb algunes característiques addicionals als tradicionals, entre les quals s'inclou destacar la mitjana aritmètica de la mostra (o de cada submostra) en la gràfica, la classificació de les dades segons un criteri o personalització donats, entre altres. Per presentar les corbes d'aprenentatge, s'emprarà aquesta funció.

4. Resultats

4.1. Introducció

En aquest apartat, es presenten els resultats obtinguts de l'anàlisi estadística. Els paràmetres estadístics dissenyats en l'apartat anterior s'han computat amb els paràmetres psicomotrius inicials obtinguts de la plataforma, per a tots els subjectes. Aquests valors s'han comparat inicialment de forma no multivariable, el que permetrà observar les tendències, particularitats i similituds entre ambdós grups d'estudi per a cada paràmetre.

En primer lloc, s'han observat les mitjanes aritmètiques dels dos grups, en 3 configuracions: només en la primera repetició, només en l'última i finalment de forma global.

En segon lloc, i com a pas previ a l'anàlisi de significança estadística, s'ha realitzat l'anàlisi estadística de potència per comprovar si la mida de mostra de cadascun dels grups era suficient per conèixer en quin grau de confiança es poden generar conclusions.

En tercer lloc, s'ha portat a terme l'anàlisi comparativa per observar diferències entre els dos grups. Els resultats de cada paràmetre estadístic es discuteixen separatament en l'apartat de Discussió.

Finalment, també en l'apartat de Discussió s'ha avaluat la plataforma de forma multivariable, ateses les valoracions extrems de les comparacions de cadascun dels paràmetres estadístics, per donar una visió holística de l'estudi.

4.2. Paràmetres estadístics d'avaluació del rendiment

S'ha calculat la mitjana aritmètica dels resultats obtinguts de tots els subjectes, tant pel grup expert com pel grup principiant, en la repetició 1, en la repetició 30 i de forma global (considerant totes les repeticions). Els resultats es mostren en la Taula 4.1.

Paràmetre estadístic	Repetició 1		Repetició 30		Global	
	EXP	PRI	EXP	PRI	EXP	PRI
Exactitud en posició	77,62%	72,21%	90,61%	88,11%	88,55%	85,19%
Exactitud en orientació	90,87%	92,73%	92,44%	94,27%	92,53%	93,88%
Distància recorreguda	23,74 cm	29,19 cm	10,29 cm	12,97 cm	12,91 cm	16,35 cm
Rotació acumulada	4728 °	6761 °	2928 °	3566 °	3431 °	3910 °
Temps d'intervenció	158,5 s	209,0 s	67,63 s	86,66 s	84,61 s	108,3 s
Velocitat màxima en els canvis d'objectiu	0,1762 mm/s	0,1724 mm/s	0,1583 mm/s	0,1831 mm/s	0,1517 mm/s	0,1699 mm/s
Velocitat mitjana en els canvis d'objectiu	0,1037 mm/s	0,1070 mm/s	0,09670 mm/s	0,1114 mm/s	0,09500 mm/s	0,1081 mm/s
Velocitat mitjana global	0,01520 mm/s	0,01420 mm/s	0,01590 mm/s	0,01650 mm/s	0,01590 mm/s	0,01640 mm/s

Taula 4.1. Mitjanes aritmètiques dels resultats dels paràmetres d'avaluació del rendiment en la repetició 1, en la repetició 30 i de forma global, tant pel grup expert com pel grup principiant

En general, un màxim rendiment histeroscòpic està lligat a la pràctica histeroscòpica amb el menor risc de perforació possible. Pel que fa als paràmetres d'avaluació del rendiment, un baix risc de perforació es tradueix en registrar valors alts d'exactitud (posició i orientació), per a una distància i rotació acumulada baixa i un temps d'intervenció curt; però mantenint una velocitat dels moviments baixa. Considerant aquest fet, en la Taula 4.1. s'han marcat en verd els valors preferibles (entre els obtinguts pels dos grups d'estudi) per a cada paràmetre estadístic.

El grup expert ha estat superior en totes les variables a excepció de l'exactitud en orientació: exactitud en posició, economia de moviment (distància i rotació acumulada), temps d'intervenció i les tres variables de velocitat. Així ha estat de forma global i en la repetició 30, però no en la repetició 1, on el grup principiant ha estat superior en els paràmetres de velocitat màxima en els canvis d'objectiu i velocitat mitjana global.

4.3. Anàlisi estadística de potència

Per a l'anàlisi estadística s'ha emprat una mostra de 82 subjectes, 61 del grup principiant i 21 del grup expert.

Per avaluar la robustesa de l'anàlisi, s'ha realitzat una anàlisi creuada de potència. Permetrà conèixer la mida de la mostra mínima a partir dels valors de mitjana aritmètica i desviació estàndard de cadascun dels conjunts de dades que formen cada paràmetre, tant per a l'anàlisi de la validesa de constructe (que compara els dos grups d'estudi), com per a l'anàlisi de l'efecte de l'entrenament en el rendiment (que compara la repetició 1 amb la repetició 30 de cadascun dels grups).

Ateses les mides de mostra que s'han utilitzat per a l'estudi, els paràmetres estadístics que compleixen amb la mida de mostra mínima per a obtenir una potència estadística del 95% són aquells que s'han marcat en verd a les taules següents.

Comparació entre grup expert i grup principiant (anàlisi de la validesa de constructe)

Tal com s'observa en la Taula 4.2., la mida de mostra es compleix amb gran part dels paràmetres estadístics, que inclouen l'exactitud, la distància recorreguda, el temps d'intervenció i les velocitats màxima i mitjana en els canvis d'objectiu. Per a la resta de variables la potència estadística no és igual o superior al 95%. Per a cada cas, s'especifica la mida de mostra necessària al costat, tot atenent als resultats obtinguts dels diferents paràmetres.

Paràmetre estadístic	Mida de la mostra real (EXP)	Mida de la mostra real (PRI)	Potència estadística real	Mida de la mostra mínima per P=95% (EXP)	Mida de la mostra mínima per P=95% (PRI)
Exactitud en posició	21	61	95,69%	21	59
Exactitud en orientació	21	61	>99,99%	4	11
Distància recorreguda	21	61	95,19%	21	61
Rotació acumulada	21	61	69,77%	44	128
Temps d'intervenció	21	61	95,12%	21	61
Velocitat màxima en els canvis d'objectiu	21	61	>99,99%	6	17
Velocitat mitjana en els canvis d'objectiu	21	61	>99,99%	3	7
Velocitat mitjana global	21	61	90,26%	26	75

Taula 4.2. Comparació entre les mides de mostra real (amb la potència estadística corresponent) i mides de mostra mínimes per a una potència estadística del 95%, segons els resultats de cadascun dels paràmetres, per a la comparació entre el grup principiant i el grup expert

Comparació entre la repetició 1 i la repetició 30 del grup expert (efecte de l'entrenament)

En aquest cas, ateses les mitjanes aritmètiques obtingudes dels paràmetres estadístics i comparant la repetició 1 i la repetició 30 de cadascun dels subjectes del grup expert, les variables que compleixen amb la mida de mostra mínima per assolir un 95% de potència estadística són la distància recorreguda, la rotació acumulada i el temps d'intervenció. Els resultats es mostren en la Taula 4.3.

Paràmetre estadístic (Grup expert)	Mida de la mostra real	Potència estadística real	Mida de la mostra mínima per P=95%
Exactitud en posició	21	92,80%	24
Exactitud en orientació	21	45,36%	79
Distància recorreguda	21	>99,99%	9
Rotació acumulada	21	96,77%	19
Temps d'intervenció	21	>99,99%	4
Velocitat màxima en els canvis d'objectiu	21	9,190%	746
Velocitat mitjana en els canvis d'objectiu	21	10,91%	533
Velocitat mitjana global	21	10,67%	555

Taula 4.3. Comparació entre les mides de mostra real (amb la potència estadística corresponent) i les mides de mostra mínimes per a una potència estadística del 95%, segons els resultats de cadascun dels paràmetres, per a la comparació entre la repetició 1 i la repetició 30 del grup expert

Comparació entre la repetició 1 i la repetició 30 del grup principiant (efecte de l'entrenament)

Anàlogament, per al grup principiant els paràmetres estadístics de distància recorreguda, rotació acumulada i temps d'intervenció requereixen una mida de mostra mínima inferior a la disponible; tal com s'ha vist amb el grup expert. No obstant això, en aquest cas els paràmetres de l'exactitud (en posició i en orientació) i la velocitat mitjana global també compleixen amb la mida de mostra mínima. La Taula 4.4. mostra els resultats d'aquest apartat.

Paràmetre estadístic (Grup principiant)	Mida de la mostra real	Potència estadística real	Mida de la mostra mínima per P=95%
Exactitud en posició	61	>99,99%	21
Exactitud en orientació	61	99,19%	42
Distància recorreguda	61	>99,99%	9
Rotació acumulada	61	>99,99%	25
Temps d'intervenció	61	>99,99%	3
Velocitat màxima en els canvis d'objectiu	61	24,99%	478
Velocitat mitjana en els canvis d'objectiu	61	17,40%	763
Velocitat mitjana global	61	97,06%	54

Taula 4.4. Comparació entre les mides de mostra real (amb la potència estadística corresponent) i les mides de mostra mínimes per a una potència estadística del 95%, segons els resultats de cadascun dels estadístics, per a la comparació entre la repetició 1 i la repetició 30 del grup principiant

4.4. Anàlisi de la validesa de constructe

Per a cada subjecte, s'ha calculat la mitjana aritmètica de cada un dels paràmetres estadístics d'avaluació des de la repetició 1 fins a la número 30. S'han comparat els valors obtinguts del grup expert amb el grup principiant mitjançant el Mann-Whitney U test amb l'objectiu de comprovar la validesa de constructe del dispositiu. Existeixen diferències significants entre els dos grups quan el *p-value* és menor que 0,05. Els resultats es mostren en la Taula 4.5.

Paràmetre estadístic	<i>p-value</i> (EXP vs PRI)	Resultat
Exactitud en posició	0,3129	S.D.S.
Exactitud en orientació	0,0133	PRI > EXP
Distància recorreguda	0,0016	PRI > EXP
Rotació acumulada	0,1986	S.D.S.
Temps d'intervenció	0,0030	PRI > EXP
Velocitat màxima en canvis d'objectiu	0,0601	S.D.S.
Velocitat mitjana en canvis d'objectiu	0,0435	PRI > EXP
Velocitat mitjana global	0,4443	S.D.S.

Taula 4.5. Diferències entre principiants (PRI) i el grup expert (EXP) dels paràmetres d'avaluació del rendiment
S.D.S: Sense diferències significatives entre els dos grups (*p-value* major que 0,05)

S'han trobat diferències significatives (en referència a les files marcades en verd en la taula) en l'exactitud en orientació, la distància recorreguda amb l'instrument, el temps d'intervenció i la velocitat mitjana en els instants on es produeix un canvi d'objectiu. El grup principiant registrava valors més alts per les quatre variables descrites.

Per altra banda, s'ha observat que no existeixen diferències significatives en alguns dels paràmetres, que inclouen l'exactitud en posició, la rotació acumulada, la velocitat màxima en canvis d'objectiu i la velocitat mitjana global de tot l'exercici. No obstant això, cal mencionar que la velocitat màxima en canvis d'objectiu té un *p-value* significativament proper a 0,05 (marcat en groc a la taula).

4.5. Efecte de l'entrenament en el rendiment

Complementàriament a l'anàlisi de la validesa de constructe del dispositiu, s'ha volgut observar quin és l'efecte de l'entrenament en el rendiment. Aquesta informació es pot observar visualment mitjançant les corbes d'aprenentatge dels subjectes, que es presenten en el següent apartat. No

obstant això, també es pot aplicar el Mann-Whitney U-test per definir si existeixen diferències en el rendiment entre la repetició 1 i la repetició 30, tant pel grup expert com pel grup principiant.

Grup expert

Paràmetre estadístic	<i>p-value</i> EXP (I_1 vs I_{30})	Resultat
Exactitud en posició	0,0025	$I_{30} > I_1$
Exactitud en orientació	0,3024	S.D.S.
Distància recorreguda	<0,0001	$I_1 > I_{30}$
Rotació acumulada	0,0035	$I_1 > I_{30}$
Temps d'intervenció	<0,0001	$I_1 > I_{30}$
Velocitat màxima en canvis d'objectiu	0,5131	S.D.S.
Velocitat mitjana en canvis d'objectiu	0,9398	S.D.S.
Velocitat mitjana global	0,3024	S.D.S.

Taula 4.6. Diferències entre els valors dels paràmetres d'avaluació del rendiment entre la repetició 1 i la 30 del grup expert
S.D.S: Sense diferències significatives entre els dos grups (*p-value* major que 0,05)

Tal com s'observa en la Taula 4.6., al llarg de les 30 repeticions el grup expert ha registrat diferències significatives en exactitud en posició, economia de moviment (distància i rotació acumulada) i en temps d'intervenció. El grup expert registrava valors més alts d'exactitud en posició amb l'experiència. D'altra banda, les altres tres variables han disminuït el seu valor.

Contràriament, no s'han registrat diferències significatives en exactitud en orientació i en les 3 variables referents a la velocitat d'operació.

Grup principiant

Paràmetre estadístic	<i>p-value</i> PRI (1 vs 30)	Resultat
Exactitud en posició	<0,0001	$I_{30} > I_1$
Exactitud en orientació	0,0049	$I_{30} > I_1$
Distància recorreguda	<0,0001	$I_1 > I_{30}$
Rotació acumulada	<0,0001	$I_1 > I_{30}$
Temps d'intervenció	<0,0001	$I_1 > I_{30}$
Velocitat màxima en canvis d'objectiu	0,2766	S.D.S.
Velocitat mitjana en canvis d'objectiu	0,6339	S.D.S.
Velocitat mitjana global	0,0068	$I_{30} > I_1$

Taula 4.7. Diferències entre els paràmetres d'avaluació del rendiment entre la repetició 1 i la 30 del grup principiant
 S.D.S: Sense diferències significatives entre els dos grups (*p-value* major que 0,05)

Quant a la Taula 4.7., s'han observat diferències significatives entre la repetició 1 i la número 30 en el grup principiant en gran part del conjunt de variables, que inclouen l'exactitud (en posició i orientació), l'economia de moviment (distància i rotació acumulada), el temps d'intervenció i la velocitat mitjana global. Com en el cas del grup expert, les variables d'economia de moviment i el temps d'intervenció disminueixen al llarg de les repeticions; però l'exactitud i la velocitat mitjana global, en canvi, augmenta amb l'experiència.

Per altra banda, no s'han registrat diferències significatives en les velocitats màxima i mitjana en canvis d'objectiu.

4.6. Corbes d'aprenentatge

En l'annex A es presenten les corbes d'aprenentatge generades pels subjectes en les 30 repeticions, tant pel grup expert com pel grup principiant, per a cadascun dels paràmetres estadístics dissenyats en el projecte. La corba d'aprenentatge permet observar visualment diferències en rendiment entre ambdós grups, així com l'efecte de l'entrenament.

Les línies en blau i en negre que connecten les diferents caixes del diagrama marquen l'evolució del valor de la mitjana de cada grup repetició a repetició. Dins de cada caixa, la recta horitzontal marca la mediana en cada repetició.

Exactitud

Pel que fa a l'exactitud en posició (Taula 0.1), a diferència del que es demostra analíticament amb els *p-values* de l'anàlisi de la validesa de constructe, es perceben variacions entre ambdós grups d'estudi. El grup expert sembla mantenir una precisió major que el grup principiant, especialment en les primeres repeticions. A més, s'observa variació amb l'experiència en els dos grups, especialment en el cas de l'usuari principiant. El valor del paràmetre es manté relativament constant en ambdós grups a partir de la repetició 15.

Per altra banda, pel que fa a l'exactitud en rotació (Taula 0.2.) es pot denotar visualment cert predomini del grup principiant envers el grup expert en valors de mitjana. La diferència escalar entre els dos grups és relativament constant amb l'experiència. En ambdós grups es pot observar que existeix una tendència ascendent amb l'experiència.

Economia de moviment

En referència a la distància recorreguda amb l'instrument (Taula 0.3.), els dos grups segueixen una corba d'aprenentatge significativament definida, amb una millora del rendiment amb l'experiència. Existeix separació escalar entre les dues corbes, de manera que els experts tenen més economia de moviment de translació que els principiants; i sembla mantenir-se a mesura que transcorren les repeticions. El valor del paràmetre es manté relativament constant en ambdós grups a partir de la repetició 15.

Quant a la rotació acumulada amb l'instrument (Taula 0.4.), es pot observar una corba d'aprenentatge que indica l'existència de millora del rendiment amb l'experiència. A diferència del paràmetre de distància recorreguda, la separació escalar entre les dues corbes (l'expert té més economia de moviment rotatiu) no es manté constant i en alguns punts el grup principiant registra

valors de mitjana més baixos que el grup expert. També s'observa certa constància en el valor del paràmetre a partir de la repetició 15, aproximadament.

Temps d'intervenció

La corba d'aprenentatge en el paràmetre de temps d'intervenció (Taula 0.5.) té característiques semblants al de distància recorreguda: corbes d'aprenentatge significativament definides i amb separació escalar constant entre les dues corbes (l'expert finalitza l'exercici abans que el principiant).

Velocitat d'operació

Pel que fa a la velocitat màxima en els instants de canvi d'objectiu (Taula 0.6.), s'observa relativa constància en el valor de mitjana del paràmetre en ambdós grups amb l'experiència, especialment en el cas del grup expert. Entre els dos grups hi ha una diferència escalar força constant, de manera que el grup principiant realitza moviments amb l'instrument més ràpids, de màxima, en els instants de canvi d'objectiu.

En referència a la velocitat mitjana en els instants de canvi d'objectiu (Taula 0.7.), s'observa un comportament similar a la variable anterior. El grup principiant realitza moviments amb l'instrument més ràpids, de mitjana, en els instants de canvi d'objectiu.

Finalment, el comportament de les corbes d'aprenentatge per a la velocitat mitjana en tot l'exercici (Taula 0.8.) és similar a les anteriors variables. El grup principiant opera amb una velocitat mitjana superior a la dels experts. No obstant això, per aquest paràmetre la diferència en escalatge entre els dos grups no és tan elevada com en els instants de canvi d'objectiu.

5. Discussió

En el aquest projecte s'ha analitzat la validesa de constructe de la plataforma d'entrenament *HysTrainer* mitjançant l'anàlisi estadística d'un conjunt de dades generades per un grup de subjectes experts en ginecologia amb una experiència superior a la realització de 25 histeroscòpies, i un grup de subjectes principiants involucrant a estudiants, residents i professionals en ginecologia amb una experiència no superior a les 25 histeroscòpies.

Com s'esperava, els resultats dels paràmetres estadístics demostren que, de mitjana, els experts tenen millor rendiment histeroscòpic que el grup principiant amb l'ús de l'entrenador; comporten una major economia en els seus moviments, finalitzen l'exercici amb menys temps i mantenen una velocitat mitjana dels moviments més petita. En la mateixa línia, també s'esperava que ambdós grups milloressin el seu rendiment amb l'experiència; s'observa una millora en l'economia de moviment i en el temps emprat.

Els paràmetres estadístics dissenyats en el treball, aplicats tant per a l'anàlisi de la validesa de constructe com per a l'anàlisi de l'efecte de l'entrenament, s'han posat a prova des de dos punts de vista diferents. En primer lloc, s'ha analitzat el poder estadístic de cadascun d'ells per conèixer si la mida de mostra disponible era suficient per a assegurar una baixa probabilitat d'aparició de falsos negatius. En segon lloc, s'han comparat en dues configuracions (entre els dos grups d'estudi i entre la repetició 1 i la número 30) mitjançant una anàlisi de contrast d'hipòtesis per conèixer la significança estadística de les comparacions.

5.1. Avaluació dels paràmetres estadístics

Exactitud

Pel que fa a la comparació entre el grup principiant i el grup expert, s'han obtingut dos resultats inesperats:

- Quant a l'exactitud en posició, l'*U-test* ha demostrat que les diferències existents entre els dos grups no són suficientment significants.
- Respecte a l'exactitud en rotació, s'han observat diferències significatives entre el grup expert i el grup principiant, de manera que l'usuari principiant tendeix a realitzar moviments angulars més precisos que l'expert.

Per una banda, se sospita que la sensibilitat estadística emprada per calcular l'exactitud en posició hagi estat excessivament petita per observar diferències significatives entre els dos grups. De fet, mitjançant les corbes d'aprenentatge s'observa una diferència escalar entre els dos grups, de manera que l'expert tendeix a realitzar moviments en translació més acurats que el principiant.

Per altra banda, i donant resposta a la insuficient significança estadística de l'exactitud en posició i a l'avantatge del grup principiant envers l'expert en l'exactitud en rotació es planteja la següent explicació: atès que els joves tendeixen a ser més afins als videojocs; i el grup principiant, que està format majoritàriament per estudiants i residents, podria tenir una edat mitjana més petita que el grup expert; se sospita que el grup principiant podria no haver trobat excessives dificultats en aprendre a controlar l'histeroscopi.

Pel que fa a l'anàlisi de l'efecte de l'entrenament, el grup principiant millora significativament en exactitud (en posició i en orientació) a mesura que transcorren les repeticions. Per altra banda, el poder estadístic calculat per al grup expert no sembla suficient per generar conclusions robustes sobre l'efecte de l'entrenament.

Donats aquests resultats, no es pot concloure que l'exactitud sigui un paràmetre diferenciador entre principiant i expert atès el possible impacte del factor de l'afinitat dels joves als videojocs. No obstant això, caldria fer una segona anàlisi coneixent aquest grau d'afinitat per validar la hipòtesi; a més de realitzar els càlculs de l'exactitud amb una sensibilitat més alta.

Economia de moviment

Com s'ha pogut observar en l'anterior apartat, la distància recorreguda amb l'instrument dona resultats diferenciadors entre el grup expert i el grup principiant, tenint també efecte en l'entrenament continu. La rotació acumulada, en canvi, només comporta diferències significatives quan es compara la repetició 1 amb la repetició 30 (per ambdós grups d'estudi) però no en l'*U* test de l'apartat de l'anàlisi de la validesa de constructe.

Tret del cas de la rotació acumulada en la comparació entre els dos grups d'estudi, l'anàlisi estadística de potència demostra que cal una mida de mostra molt petita per a donar validesa a les diferències descrites en el paràmetre d'economia de moviment.

Atès el que es comenta, pot concloure's que l'economia de moviment (tant distància com rotació acumulada) és un tret diferenciador quan es compara la repetició 1 amb la repetició 30; amb l'experiència l'economia de moviment es veu augmentada. Només la distància recorreguda és un paràmetre diferenciador entre principiant i expert; l'expert recorre menys distància amb l'instrument que el principiant. Caldria portar a terme una altra anàlisi amb una mostra més gran per comprovar si la rotació també pot ser una variable rellevant per a l'anàlisi de la validesa de constructe.

Temps d'intervenció

Els resultats del paràmetre del temps d'intervenció són significativament diferents entre experts i principiants, i entre la repetició 1 i la número 30.

L'anàlisi estadística de potència demostra que una mida de mostra petita ja és suficient per donar validesa a aquest argument.

Considerant això, es pot concloure que el temps és un tret diferenciador quan es compara l'expert amb el principiant (l'expert finalitza l'exercici abans que el principiant) i, a més, la repetició 1 amb la repetició 30 (l'experiència redueix el temps d'intervenció).

Velocitat d'operació

Pel que fa a l'anàlisi de la validesa de constructe, els resultats obtinguts amb la velocitat mitjana en els instants de canvi d'objectiu són significativament diferents entre el grup expert i el grup principiant. Per altra banda, els resultats de la velocitat màxima en els instants de canvi d'objectiu no són significativament diferents entre els dos grups; tot i que cal considerar que el *p-value* obtingut és força proper al límit mínim acceptat (0,05).

L'anàlisi estadística de potència demostra que amb una mida de mostra molt petita ja és suficient per donar validesa als dos arguments. Per altra banda, la velocitat mitjana global requereix una mida de mostra més gran per arribar a conclusions més robustes.

Pel que fa a l'anàlisi de l'efecte de l'entrenament en el rendiment, s'ha vist que la velocitat mitjana dona resultats diferenciadors entre la repetició 1 i la repetició 30 en el grup principiant.

El poder estadístic calculat deixa constància que no és possible elaborar conclusions amb les velocitats mitjana i màxima en els instants de canvi d'objectiu (tant pel grup expert com pel grup principiant) donada la mida de mostra disponible; ni tampoc amb la velocitat mitjana global en el grup expert.

Tenint en compte això, es pot concloure que la velocitat mitjana és un paràmetre diferenciador entre la repetició 1 i la número 30; l'experiència augmenta la velocitat d'operació en subjectes no experts. Aquest és un punt en el qual cal reflexionar més detalladament, ja que el fet de realitzar moviments més ràpidament no implica una millora en el rendiment histeroscòpic; una alta velocitat d'operació implica un alt risc de provocar perforacions.

5.2. Avaluació general del dispositiu

En termes generals, el dispositiu HysTrainer és capaç de distingir entre un subjecte no expert i expert amb un interval de confiança significativament elevat (és a dir, es dona la validesa de constructe), tenint en compte la quantitat de moviment en translació que realitza amb l'instrument i el temps que empra per realitzar l'exercici. Alhora, amb l'ús repetitiu del dispositiu també s'observa una millora d'aquests paràmetres (és a dir, una reducció en valor), incloent-hi la quantitat de moviment rotatiu només en aquest segon cas.

Com a inconvenient, s'ha detectat un risc pel que fa a la velocitat de moviment amb l'instrument en cas de subjectes no experts. Probablement, a causa de no tractar el dispositiu com a una operació real, el subjecte principiant tendeix a augmentar la velocitat dels seus moviments a mesura que acumula repeticions amb el dispositiu. Aquest fet no es tradueix a una millora del rendiment histeroscòpic, ja que amb la velocitat s'augmenta el risc de cometre una perforació en l'anatomia del pacient.

5.3. Fortaleses i debilitats de l'estudi

Fortaleses

L'estudi ha pogut gaudir d'una mida de mostra força elevada, si es compara amb altres estudis semblants [32]; el que ha permès generar conclusions robustes amb múltiples paràmetres estadístics. En la mateixa línia, l'esforç dels subjectes en realitzar 30 repeticions amb el dispositiu s'ha traduït a poder observar particularitats que haguessin estat complexes de veure amb menys dades. Un exemple ha estat descobrir que a un cert nombre de repeticions el subjecte no registra millores en economia de moviment (apareix estabilitat).

Debilitats

Tot i argumentar que s'ha pogut gaudir d'una mida de mostra gran respecte altres estudis, la mida de mostra no era suficientment gran estadísticament per poder detectar i eliminar valors atípics. Durant la fase d'adquisició de les dades psicomètriques s'havien detectat nombrosos casos on el subjecte es distreia, o no prenia la suficient atenció; generant dades psicomètriques que haurien de ser descartades en la posterior anàlisi estadística. Aquests valors atípics no detectats han pogut modificar notablement els resultats obtinguts.

Una altra debilitat ha estat desconèixer dades demogràfiques dels subjectes que podrien tenir cert impacte en els resultats, com són l'edat o; atesa la hipòtesi que es planteja en l'avaluació del paràmetre de l'exactitud, el grau d'afinitat als videojocs.

Finalment, per al cas del paràmetre d'exactitud en rotació no s'han pogut obtenir dades relatives al rang angular acceptat per a observar cada punt objectiu. Com s'ha comentat anteriorment en el treball, en l'exercici hi ha objectius que només poden ser observats en un rang angular més estret que altres (els objectius situats en els laterals de la paret uterina, per exemple, són més complexos d'observar que aquells situats en la paret paral·lela al cèrvix). Tenint en compte aquest fet, s'ha considerat un marge igualitari per a tots els objectius, el que podria afectar notablement l'anàlisi d'aquest paràmetre estadístic.

5.4. Millores de futur

Ateses les debilitats descrites en el fragment anterior, es plantegen les següents millores que podrien aplicar-se en estudis o projectes evolutius del dispositiu:

- Involucrar a més subjectes en la fase d'adquisició de les dades
- Controlar el calibratge del dispositiu abans de l'adquisició de les dades
- Registrar els rangs angulars acceptats per a cada objectiu en l'exercici

Adicionalment, es proposa l'enregistrament de les coordenades de la posició física del model anatòmic, ja que podria portar a futurs estudis a generar dos paràmetres estadístics nous per a l'avaluació del rendiment histeroscòpic. Per una banda, permetria conèixer si el subjecte s'apropa excessivament a les parets uterines amb l'instrument. Per altra banda, es detectaria si l'instrument fa contacte amb la paret uterina (i quantes vegades ho fa). La figura 5.1. mostra un exemple il·lustratiu.

A partir de les dades de posició i mitjançant el disseny d'una funció a MATLAB, es podia generar una imatge de la trajectòria seguida per l'usuari amb l'instrument. En la imatge, el triangle blau descriu els límits físics del model anatòmic de l'úter (dades d'exemple, no reals). La trajectòria es mostra en color taronja, l'inici es marca amb una creu violeta i el final amb una creu verda. Els objectius a observar, en color blau, estan identificats del 0 al 9. Els cercles de color taronja fan referència a la posició exacta de l'instrument en el moment en el qual l'usuari premia el pedal per passar al següent objectiu.

Com es pot observar, es marquen en groc les posicions de l'instrument quan aquest passa molt a prop de les parets uterines (límits físics del model genital femení). Per altra banda, es marquen en vermell les posicions de l'instrument quan aquest es manté en contacte amb les parets.

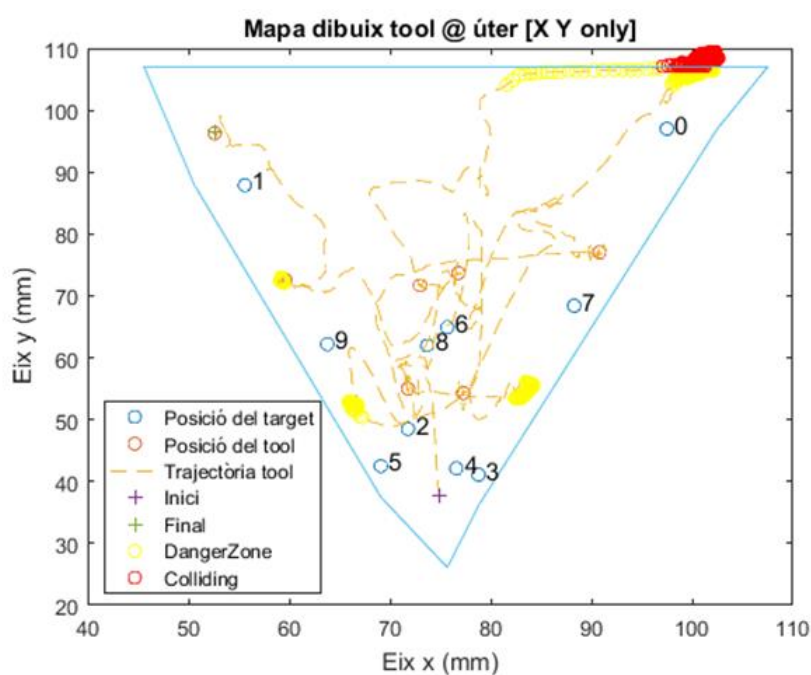


Figura 5.1. Il·lustració gràfica de la trajectòria seguida amb l'instrument per un subjecte de l'estudi.

Aquests registres de posició es podrien analitzar per conèixer si existeixen diferències entre experts i principiants (o entre la repetició 1 i la repetició 30 de cada subjecte) pel que fa al temps total en el qual l'usuari es manté en zona de perill amb l'instrument.

6. Anàlisi de l'impacte ambiental

Aquest projecte no implica cap impacte ambiental directe, ja que la fabricació o comercialització de l'objecte del treball queda fora de l'abast del projecte. En el treball només es tracten dades generades pel dispositiu per validar el seu funcionament.

No obstant això, es podria debatre si el projecte té impacte indirecte atès el cas que aquesta validació sigui el pas previ a una posterior producció massiva i comercialització de l'aparell. L'objecte del treball és un dispositiu electrònic i, tenint en compte aquest fet, la seva gestió inadequada pot augmentar la probabilitat de contaminació ambiental.

Conclusions

L'objectiu principal del treball era avaluar i validar la plataforma *EndoTrainer* com a dispositiu de formació i avaluació en tècniques endoscòpiques en la seva configuració ginecològica (que en aquest cas rep el nom d'*HysTrainer*). Mitjançant l'anàlisi estadística de dades generades per un conjunt de subjectes voluntaris, es conclou que el dispositiu és capaç de distingir els usuaris segons la seva expertesa clínica. S'ha comprovat, doncs, la validesa de constructe del dispositiu.

No obstant això, els resultats no han estat completament concloents. Tot i que múltiples paràmetres estadístics demostren l'existència de diferències significatives entre els dos grups d'estudi, hi ha altres que o bé requereixen una mida de mostra més gran per generar conclusions robustes, o bé no són compatibles amb l'avaluació del rendiment histeroscòpic.

Independentment d'aquest fet, els paràmetres estadístics que s'han utilitzat per a l'anàlisi són compatibles, ja que es poden trobar en altres estudis que avaluen dispositius semblants. Amb l'objectiu de descobrir noves observacions, s'ha utilitzat un paràmetre poc comú en aquest tipus d'estudis: la velocitat d'operació. Aquest experiment ha permès detectar que l'usuari principiant millora en molts aspectes amb l'ús repetitiu de l'entrenador però, no obstant això, aquest procés d'aprenentatge també fa que augmenti la velocitat d'operació amb l'instrument i, en conseqüència, el risc de provocar una perforació al pacient real. És recomanable, doncs, incloure un control actiu de la velocitat que indiqui als usuaris, interactivament, que no sobrepassin certes velocitats en les fases d'entrenament.

El dispositiu, després de ser validat com a dispositiu de formació i avaluació en tècniques endoscòpiques, comprèn raons suficients per substituir l'actual model d'entrenament histeroscòpic oficial a Europa. L'*HysTrainer* permet l'entrenament de l'usuari i l'avaluació objectiva i multivariable del seu rendiment. A més, l'entrenador ofereix un suport complet que combina el model anatòmic físic, que és relativament realista; i el component virtual necessari per a la generació de diferents condicions i exercicis.

En l'apartat de discussió s'ha proposat una millora que podria conduir que estudis futurs sobre l'objecte del treball gaudeixin de recursos estadístics més sofisticats. Aquest fet podria permetre una avaluació més completa de l'aparell amb l'objectiu de millorar i optimitzar la seva funcionalitat

Finalment, els objectius evolutius del projecte se centren en l'execució d'una segona anàlisi estadística a una escala major, és a dir, que involucri a un gran nombre de subjectes per validar les hipòtesis que es plantegen en el projecte; i la realització d'estudis estadístics semblants amb l'entrenador però amb configuracions quirúrgiques diferents (com la citoscòpia, per exemple).

Pressupost

El pressupost del projecte es desglossa en 2 seccions: costos de material (Taula 0.1.) i costos d'enginyeria (Taula 0.2.). A continuació es mostra el detall:

Costos de material

S'ha aplicat una amortització del 12% per a tots els actius.

Ítem	Unitats	Cost de compra	Temps d'ús	Cost d'amortització
Llicència anual MATLAB	1	800 €	4 mesos	32 €
Office Professional 2019	1	579 €	4 mesos	23,16 €
Ordinador Lenovo ThinkPad X270	1	600 €	4 mesos	24 €
Total				79,16 €

Taula 0.1. Desglossament dels costos de material del projecte

Costos d'enginyeria

Ítem	Cost unitari	Hores	Cost
Analista de dades junior	12,5 € / h	600	7500 €
Analista de dades sènior	25 € / h	60	1500 €
Director	60 € / h	30	1800 €
Total		690	10800 €

Taula 0.2. Desglossament dels costos d'enginyeria del projecte

Pressupost total del projecte

Atesos els costos de material i els costos d'enginyeria, el pressupost total del projecte s'especifica en la Taula 0.3.

Ítem	Cost
Costos de material	79,16 €
Costos d'enginyeria	10800 €
TOTAL	10879,16 €

Taula 0.3. Pressupost total del projecte

Bibliografia

- [1] "SURGITRAINER". *XXII Fòrum d'Inversió. Catàleg d'empreses 2017*. Gen. 2016: pàg. 13
<<https://www.accio.gencat.cat/web/.content/bancconeixement/documents/93f7e82c.pdf>>
- [2] "Hystrainer: Surgical trainer for hysteroscopy surgery" *Institute for Bioengineering of Catalonia*. 10 mai. 2019.
<<http://www.ibecbarcelona.eu/research-groups/robotics/hystrainer-surgical-trainer-for-hysteroscopy-surgery/>>
- [3] "Endoscopy" *NHS*. 11 oct. 2016. <<https://www.nhs.uk/conditions/endoscopy/>>
- [4] Tonutti, Michele et al. "The role of Technology in minimally invasive surgery: State of the art, recent developments and future directions." *Postgraduate Medical Journal* Volum 93, 22 nov. 2016: pàg. 159-167.
- [5] Ellessawy, Mohamed et al. "Integration and Validation of Hysteroscopy Simulation in the Surgical Training Curriculum." *Journal of Surgical Education* Volum 74, 23 ago. 2016: pàg. 84-90.
- [6] Larsen, C.R. et al. "Objective assessment of gynecologic laparoscopic skills using the LapSimGyn virtual reality Simulator." *Gynecological Surgery* Volum 20, 3 jul. 2006: pàg. 1460-1466.
- [7] "Endoscopic or Minimally Invasive Surgery (MIS)." *2019 Southeastern Spine Institute*.
<<https://www.southeasternspine.com/endoscopic-or-minimally-invasive-surgery-mis/>>
- [8] Hortamani, Ramin et al. "Modeling and Simulation of Graspers Force in Minimally Invasive Surgery." *2009 International Association of Computer Science and Information Technology – Spring Conference*, 17-20 abr. 2009: pàg. 475-479.
- [9] Kim, D.T. et al. "A panoramic stitching vision performance improvement technique for Minimally Invasive Surgery." *2016 5th International Symposium on Next-Generation Electronics*, mai. 2016
- [10] Janse, J.A. et al. "Hysteroscopy training and learning curve of 30° camera navigation on a new box trainer: the HYSTT." *Gynecological Surgery* Volum 11, 29 gen. 2014: pàg. 67-73.
- [11] Savran, M.M. "Training and Assessment of Hysteroscopic Skills: A Systematic Review." *Journal Surgery Education* Volum 73, 18 mai. 2016: pàg. 906-918.

- [12] "Hysteroscopy" *Wikipedia*. 18 abr. 2019 <<https://en.wikipedia.org/wiki/Hysteroscopy>>
- [13] "Trombosi venosa profunda" *Wikipedia*. 24 jun. 2018.
<https://ca.wikipedia.org/wiki/Trombosi_venosa_profunda>
- [14] Gordon, A.G. "Complications of hysteroscopy." *Geneva Foundation for Medical Education and Research*. 27 set. 2017.
<https://www.gfmer.ch/Books/Endoscopy_book/Ch24_Complications_hyster.html>
- [15] Hill D. et al. "Complications of operative hysteroscopy" *Gynaecol Endoscopy 1992* Volum 1: p àg. 185-189.
- [16] Molinas, C.R. et al. "Feasibility and construct validity of a novel laparoscopic skills testing and training model." *Gynecological Surgery* Volum 5, 6 mai. 2008: pàg. 281-290.
- [17] Lin, C.J. et al. "The Investigation of Laparoscopic Instrument Movement Control and Learning Effect." *BioMed Research International* Volum 2013, 2 jul. 2013: pàg. 16.
- [18] Chew, Stephen et al. *Basic Laparoscopic Techniques and Advanced Endoscopic Suturing*. ISBN: 978-981-4542-75-3. Singapur: National University of Singapore, gen. 2001.
- [19] Wentink, M. et al. "Eye-hand coordination in laparoscopy – an overview of experiments and supporting aids." *Minimally Invasive Therapy & Allied Technologies* Volum 10, jul. 2009: pàg. 155-162
- [20] Rosenberg, B.H. et al. "Can video games be used to predict or improve laparoscopic skills?" *Journal of Endourology* Volum 19, abr. 2005: pàg. 372-376.
- [21] Ottermo, M.V. et al. "The Role of Tactile Feedback in Laparoscopic Surgery." *Surgical Laparoscopy Endoscopy & Percutaneous Techniques* Volum 16, dec. 2006: pàg. 390-400.
- [22] Rian, Russell. "UT Southwestern, UT Arlington to develop magnetic surgery tools." *EurekAlert!* 9 jul. 2009. <https://www.eurekalert.org/pub_releases/2009-07/usmc-usu070909.php>
- [23] Supe, A.N. et al. "Ergonomics in laparoscopic surgery." *Journal of Minimal Access Surgery* Volum 6, abr-jul 2010: pàg 31-36.
- [24] Queirós, Sandro et al. "A laparoscopic surgery training interface." *Serious Games and Applications for Health* 2011.

- [25] "What is Virtual Reality?" 2017 *Virtual Reality Society*. <<https://www.vrs.org.uk/virtual-reality/what-is-virtual-reality.html>>
- [26] Vankipuram, Mithra et al. "Virtual Reality Based Training to resolve Visio-motor Conflicts in Surgical Environments." *IEEE International Workshop on Haptic Audio Visual Environments and their Applications*. Ottawa – Canada, 18-19 oct. 2008.
- [27] "ESGE" 2018 *European Society for Gynaecological Endoscopy* <<http://www.esge.org/>>
- [28] "GESEA Programme" 2019 *European Academy of Gynaecological Surgery* <<https://europeanacademy.org/certification/gesea-programme/>>
- [29] "HYSTT Starter Bundle" ID *TRUST MEDICAL* <<https://id-trust-medical.eu/training-tools/hysteroscopy/hystt-starter-bundle/>>
- [30] Moorthy, K. et al. "Motion analysis in the training and assessment of minimally invasive surgery." *Minimally Invasive Therapy & Allied Technologies* Volum 12, jul. 2003: pàg 137-142.
- [31] "Simbionix VirtaMed HystSim" 2014 *OKB Medical Limited* <<http://www.okbmedical.com/hystsim.html>>
- [32] Neis, Felix et al. "Evaluation of the HystSim – virtual reality trainer: an essential additional tool to train hysteroscopic skills outside the operation theater." *Surgical Endoscopy* Volum 30, 9 mar. 2016: pàg. 4954-4961.
- [33] "VirtaMed GynoS" 2019 *VirtaMed*. <<https://www.virtamed.com/en/medical-training-simulators/gynos/>>
- [34] "Simbionix HYST Mentor" 2019 *3D Systems, Inc.* <<https://es.3dsystems.com/medical-simulators/simbionix-hyst-mentor/features>>
- [35] Mackay, S. Et al. "Multiple Objective Measures of Skill (MOMS): a new approach to the assessment of technical ability in surgical trainees" *Annals of Surgery* Volum 238, ag. 2003: pàg. 291-300.
- [36] "Multivariate statistics" *Wikipedia*. 16 nov. 2018. <https://en.wikipedia.org/wiki/Multivariate_statistics>
- [37] "Accuracy and precision" *Wikipedia*. 7 mai. 2019. <https://en.wikipedia.org/wiki/Accuracy_and_precision>

- [38] "Velocity" *Wikipedia*. 3 jun. 2019. <<https://en.wikipedia.org/wiki/Velocity>>
- [39] "MATLAB" *Wikipedia*. 31 mai. 2019. <<https://en.wikipedia.org/wiki/MATLAB>>
- [40] "Statistics and Machine Learning Toolbox" *MathWorks*. 3 jun. 2019.
<<https://es.mathworks.com/products/statistics.html>>
- [41] "Mean" *Wikipedia*. 21 mai. 2019. <<https://en.wikipedia.org/wiki/Mean>>
- [42] "Statistical Power Analysis" *Statistics Solutions 2019*.
<<https://www.statisticssolutions.com/statistical-power-analysis/>>
- [43] "Type I and type II errors" *Wikipedia*. 18 mai. 2019.
<https://en.wikipedia.org/wiki/Type_I_and_type_II_errors>
- [44] "sampsizepwr (Sample size and power of test)" *MathWorks*. 3 jun. 2019.
<<https://es.mathworks.com/help/stats/sampsizepwr.html>>
- [45] "Mann-Whitney U test" *Wikipedia*. 29 mai. 2019.
<https://en.wikipedia.org/wiki/Mann%E2%80%93Whitney_U_test>
- [46] Alici, Ferizan et al. "Objective Structured Assessment of Technical Skills (OSATS) evaluation of hysteroscopy training: a prospective study". *European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology* Volum 178, jul. 2014: pàg. 1-5
- [47] Bakja, M. "Establishing construct validity of a virtual-reality training Simulator for hysteroscopy via a multimetric scoring System." *Surgical Endoscopy Journal* Volum 24, gen. 2010: pàg. 79-88
- [48] LaMorte, W.W. "Mann Whitney U test (Wicoxon Rank Sum Test)" *Boston University School of Public Health*. 4 mai. 2017.
<http://sphweb.bumc.bu.edu/otlt/mph-modules/bs/bs704_nonparametric/BS704_Nonparametric4.html>
- [49] "Mann-Whitney U Test using SPSS Statistics" *Laerd Statistics. 2018 Lund Research Ltd*.
<<https://statistics.laerd.com/spss-tutorials/mann-whitney-u-test-using-spss-statistics.php>>
- [50] "Learning Curve" *Wikipedia*. 15 feb. 2019.
<https://en.wikipedia.org/wiki/Learning_curve>

- [51] Bikfalvi, Alex. "Advanced Box Plot for Matlab". *Alex Bikfalvi*. 27 set. 2012.
<http://alex.bikfalvi.com/research/advanced_matlab_boxplot/>
- [52] "Endoscopia" *Wikipedia*. 20 feb. 2019. <<https://es.wikipedia.org/wiki/Endoscopia>>
- [53] "SURGITRAINER: Nova spin-off del CREP UPC." *UPC, Centre de Recerca en Enginyeria Biomèdica*. 3 oct. 2016.
<<https://creb.upc.edu/ca/noticies/surgitrainer-nova-spin-off-del-creb-upc>>
- [54] Kaufamn, H.H. et al. "Teaching Surgeons to Operate – Principles of Psychomotor Skills Training" *Acta Neurochir* Volum 87, 1987: pàg. 1-7.
- [55] "4MM Nasal Endoscope 4x175mm Sinuscope Arthroscopy Sinus mirror Sinoscope CE" *eBay*
<<https://www.ebay.com/itm/173227853935>>

Annex A: Corbes d'aprenentatge

En aquest annex es mostren les corbes d'aprenentatge generades pels subjectes atenent a cadascun dels diferents paràmetres estadístics dissenyats en el treball. En les següents pàgines, per tant, es presentarà la corba d'aprenentatge del paràmetre de l'exactitud (que inclou l'exactitud en posició i en rotació), de l'economia de moviment (que inclou la distància recorreguda i la rotació acumulada), del temps d'intervenció i de la velocitat d'operació (velocitats màxima i mitjana en els instants de canvi d'objectiu i velocitat mitjana global)

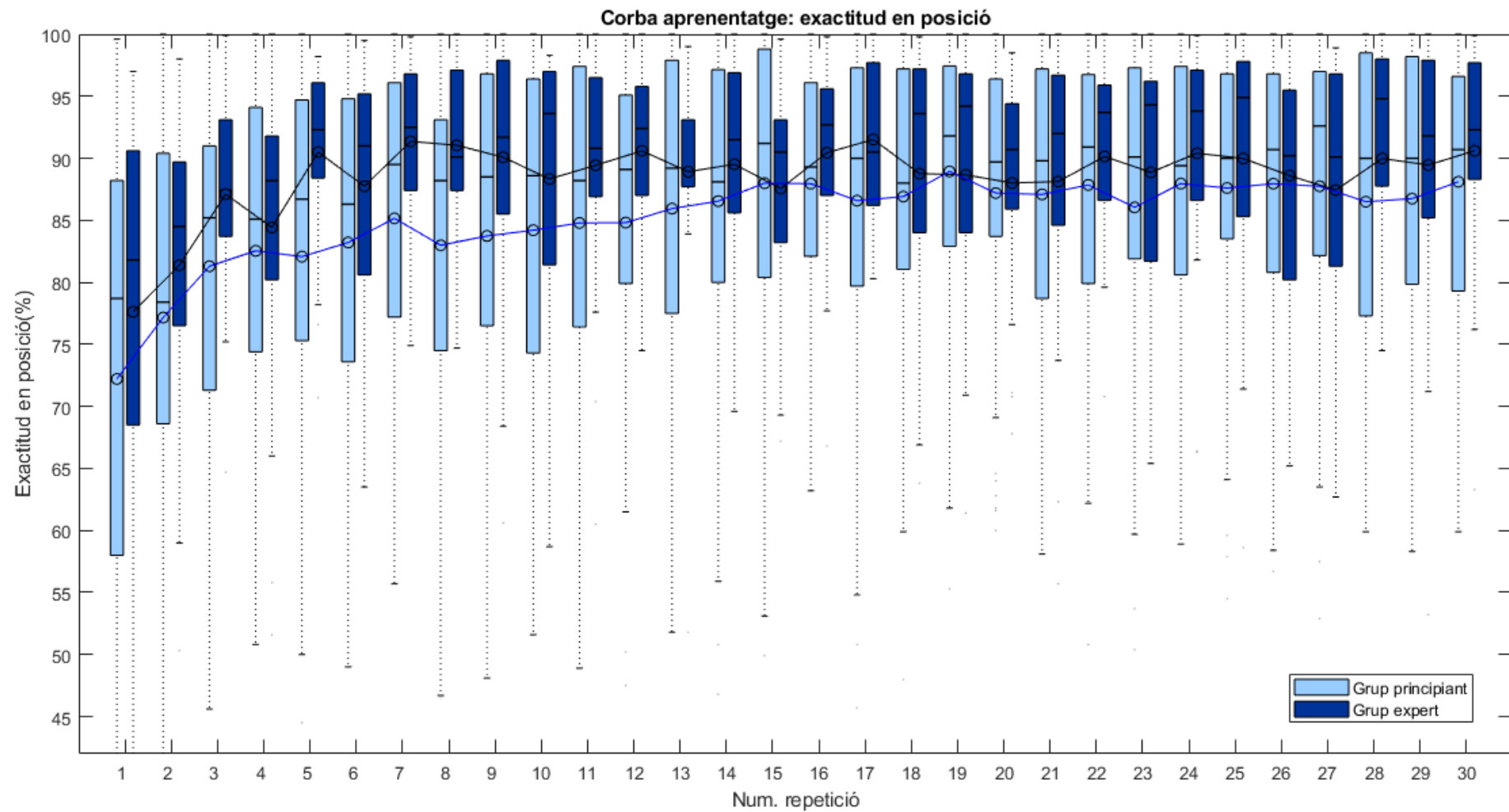


Figura 0.1. Representació gràfica de la corba d'aprenentatge per a l'exactitud en posició, des de la repetició 1 fins a la 30, tant el grup expert com pel grup principlant.

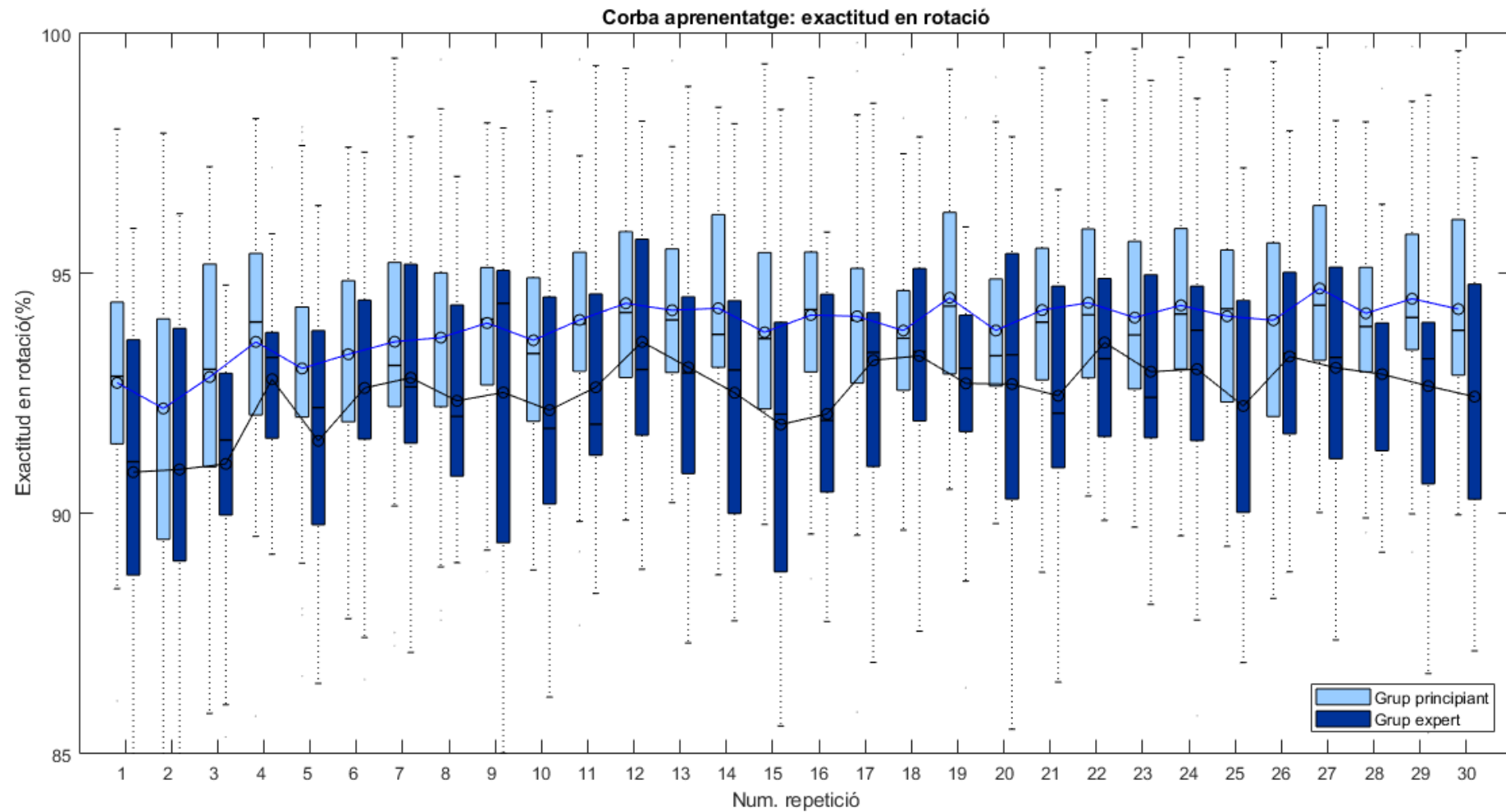


Figura 0.2. Representació gràfica de la corba d'aprenentatge per a l'exactitud en rotació, des de la repetició 1 fins a la 30, tant el grup expert com pel grup principiant.

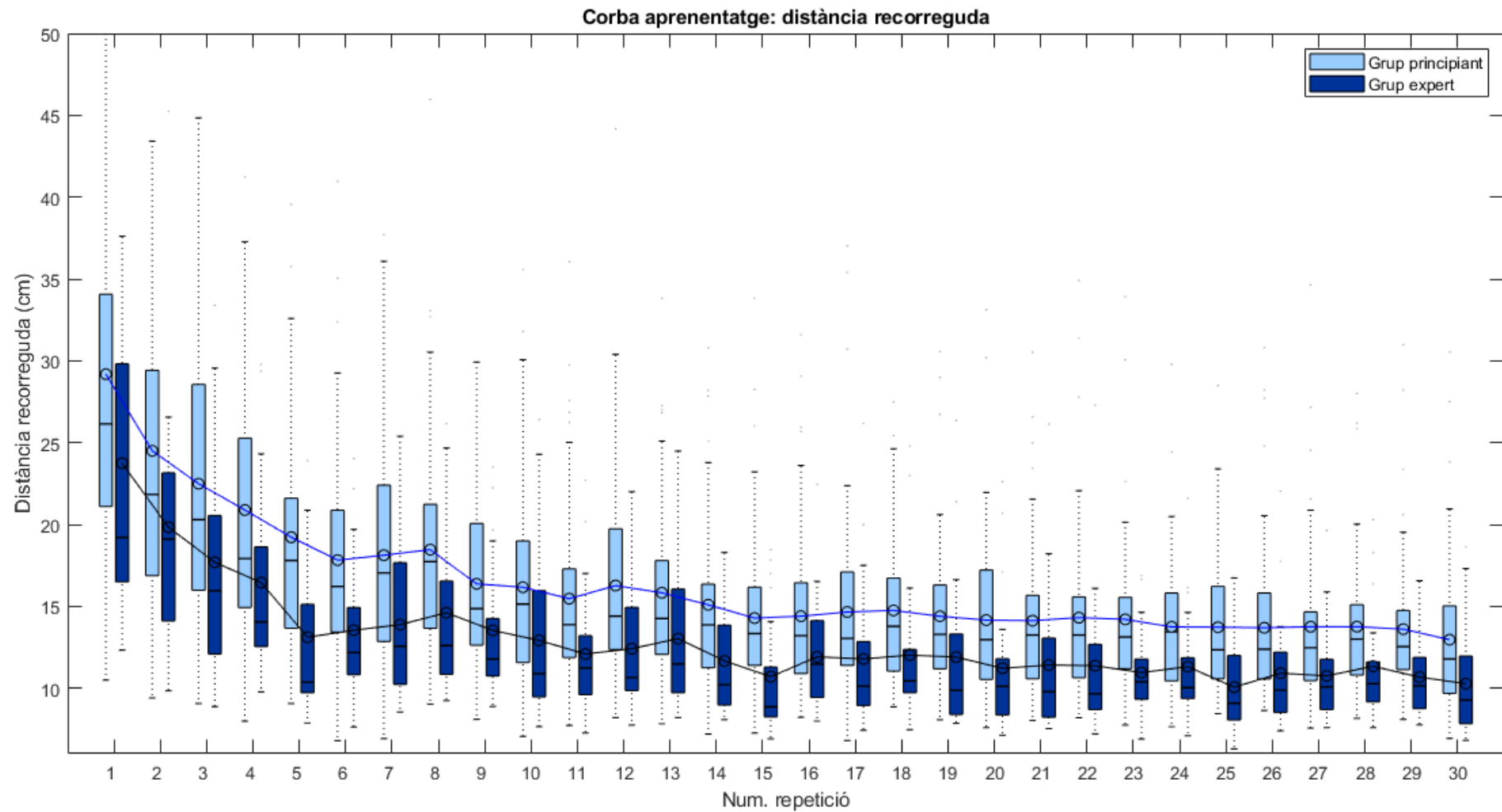


Figura 0.3. Representació gràfica de la corba d'aprenentatge per a la distància recorreguda, des de la repetició 1 fins a la 30, tant el grup expert com pel grup principiant.

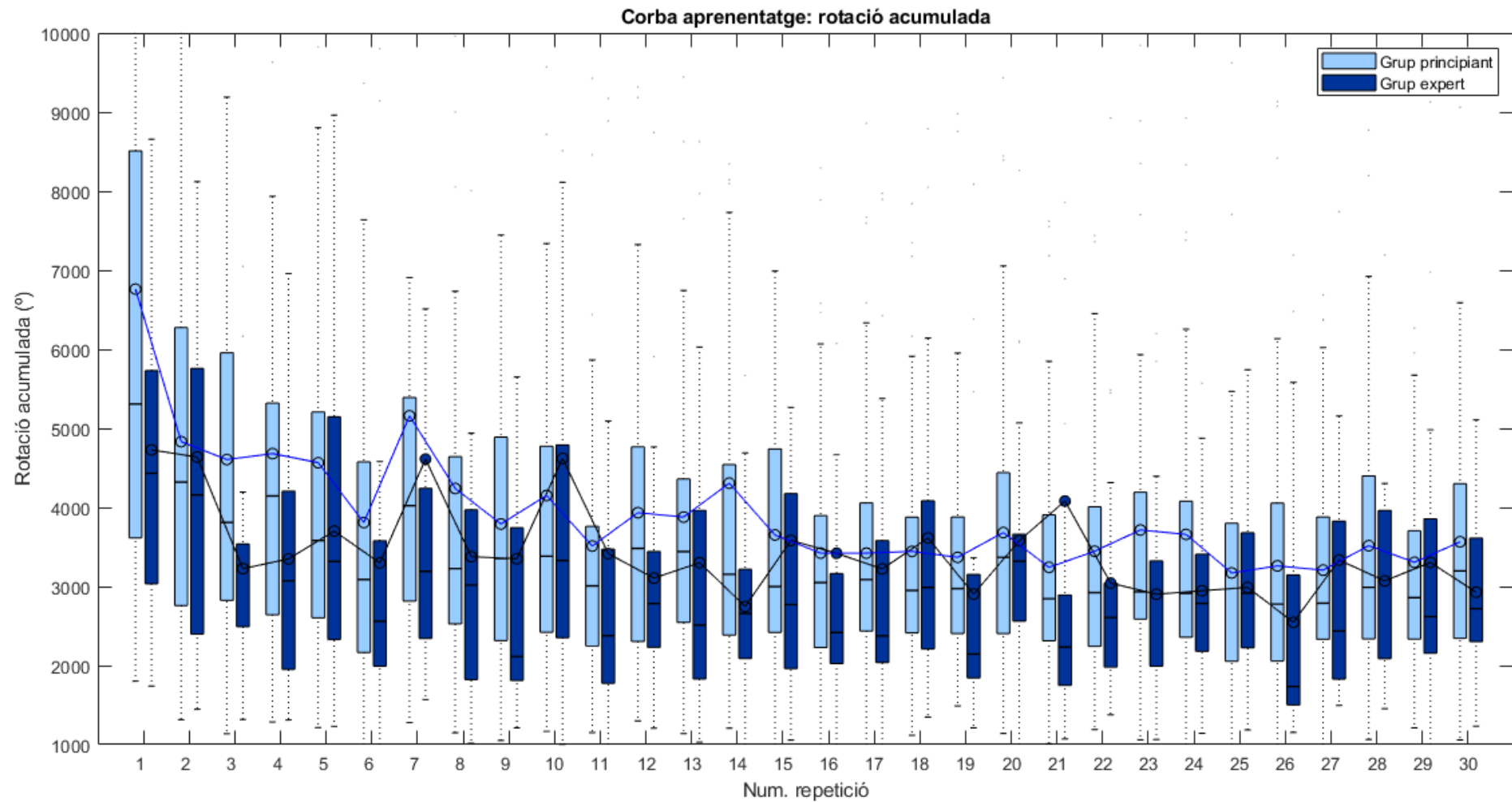


Figura 0.4. Representació gràfica de la corba d'aprenentatge per a la rotació acumulada, des de la repetició 1 fins a la 30, tant el grup expert com pel grup principiant.

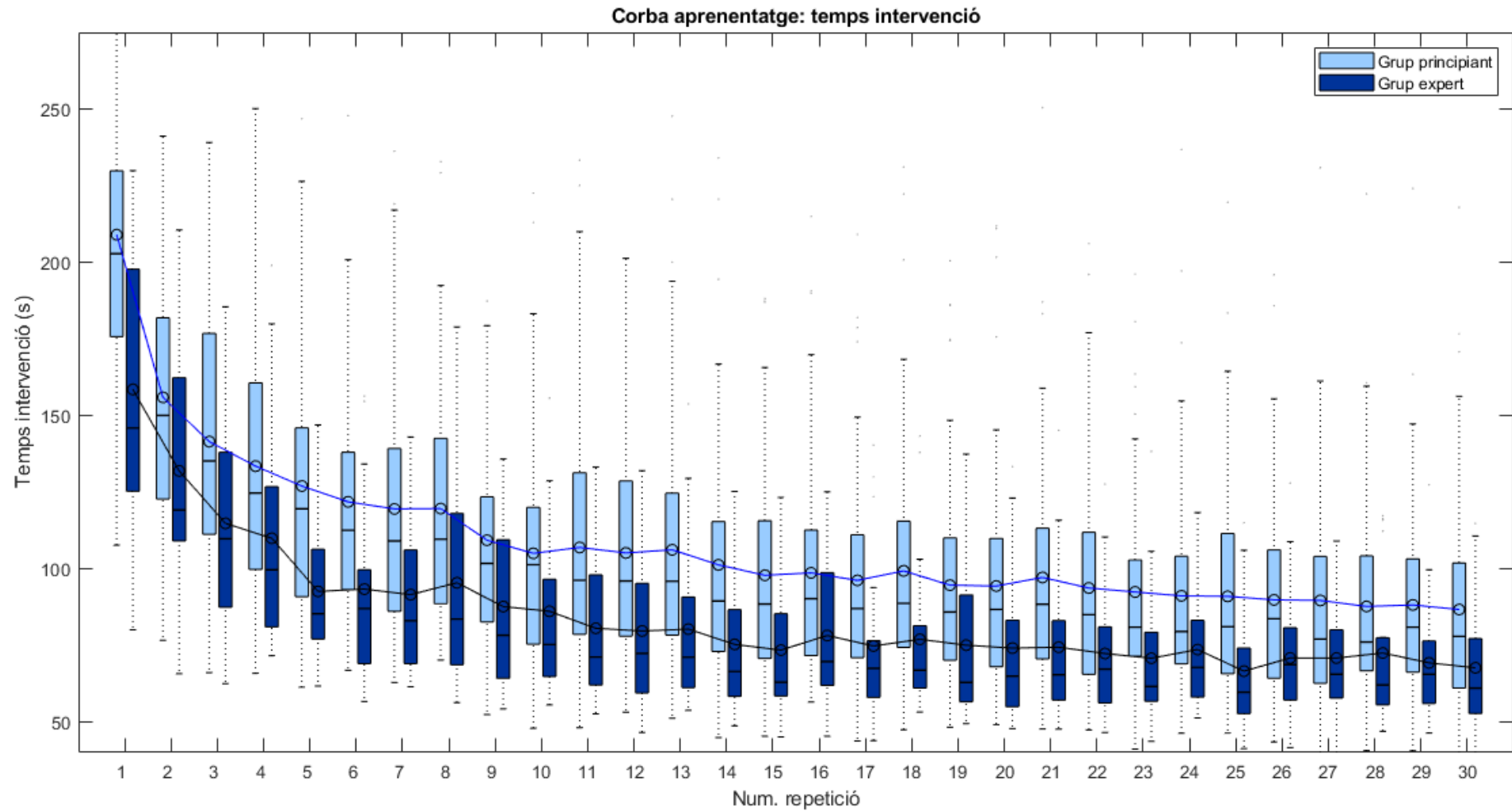


Figura 0.5. Representació gràfica de la corba d'aprenentatge per al temps d'intervenció, des de la repetició 1 fins a la 30, tant el grup expert com pel grup principiant.

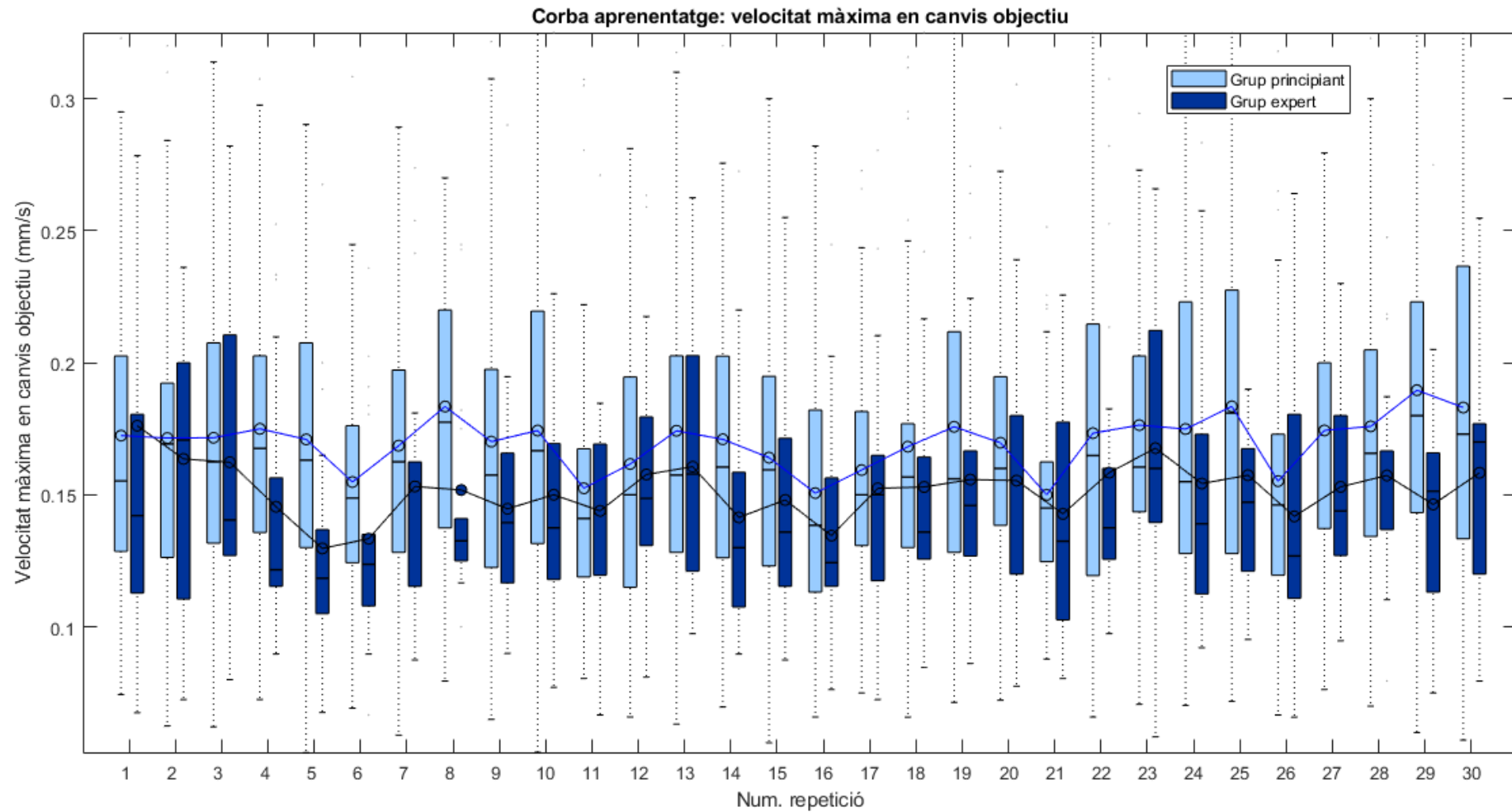


Figura 0.6. Representació gràfica de la corba d'aprenentatge per a la velocitat màxima en canvis d'objectiu, des de la repetició 1 fins a la 30, tant el grup expert com pel grup principiant.

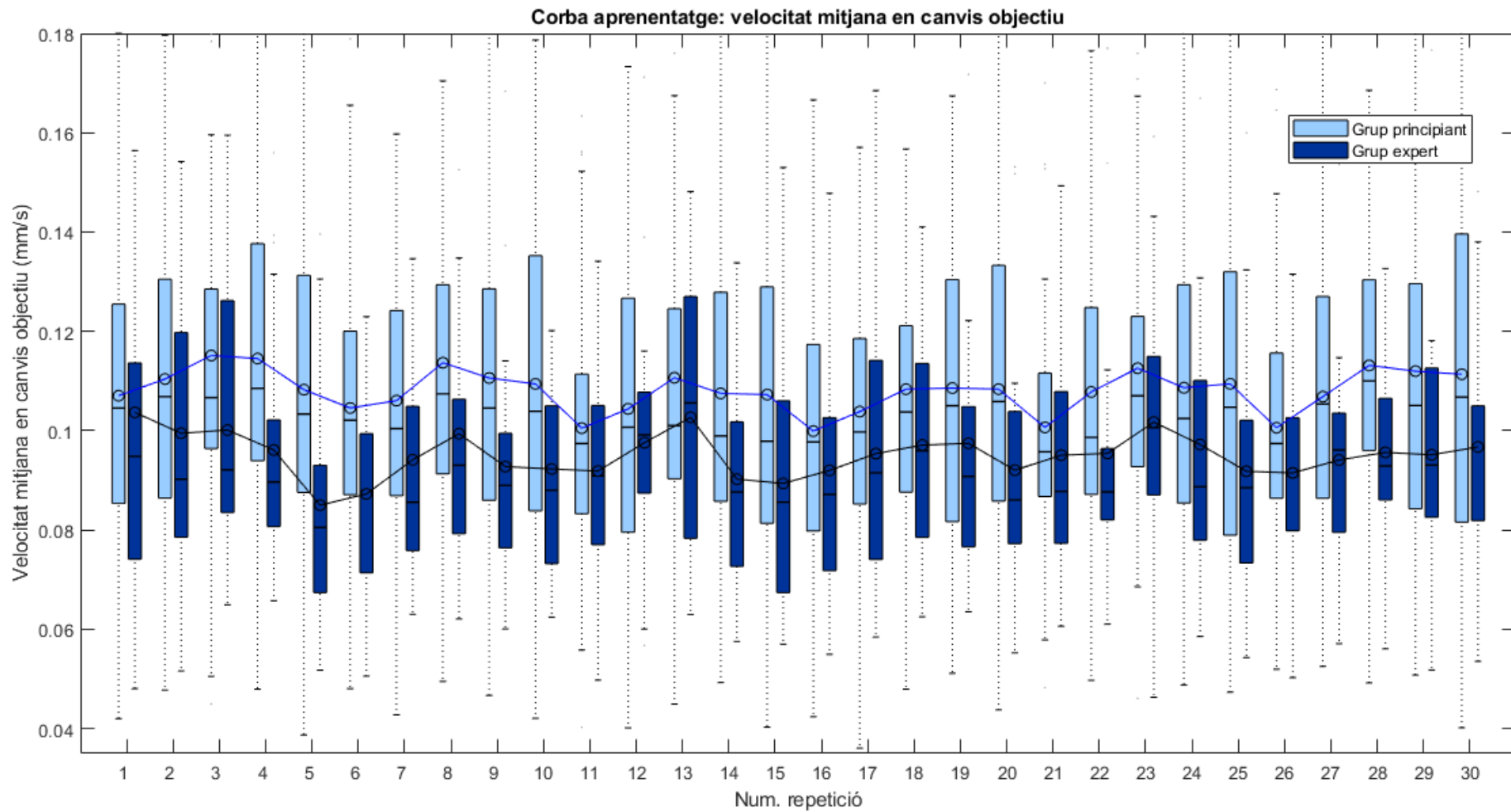


Figura 0.7. Representació gràfica de la corba d'aprenentatge per a la velocitat mitjana en canvis d'objectiu, des de la repetició 1 fins a la 30, tant el grup expert com pel grup principiant.

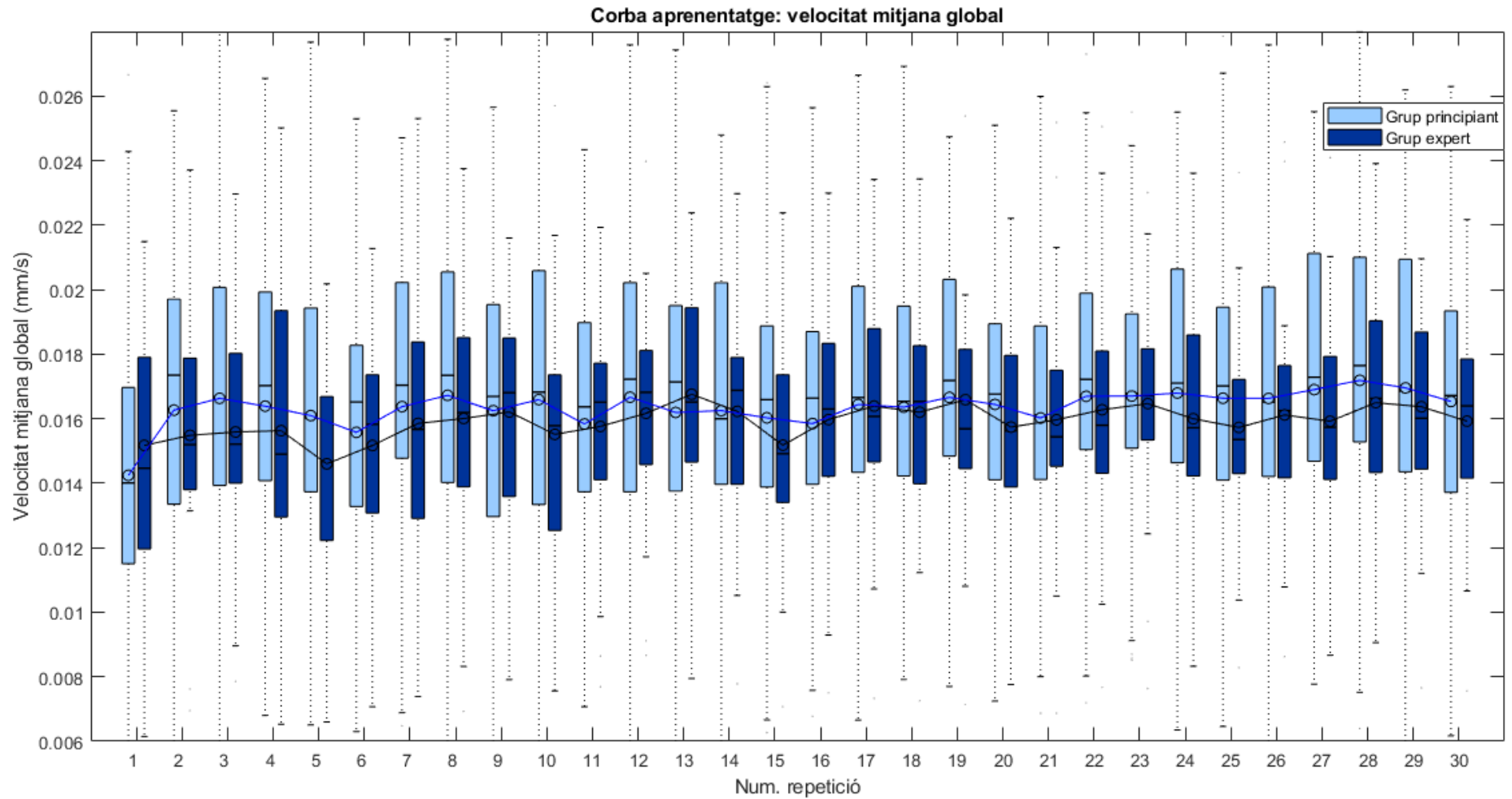


Figura 0.8. Representació gràfica de la corba d'aprenentatge per a la velocitat mitjana global, des de la repetició 1 fins a la 30, tant el grup expert com pel grup principiant.

Annex B: Codi MATLAB

A continuació es mostra el codi dissenyat i emprat a MATLAB per a la obtenció dels diferents resultats desplegats en el projecte. El codi està fragmentat en varies funcions, alhora agrupades en tres seccions:

- Funcions administratives. Les funcions d'aquest grup s'han utilitzat per llegir i generar una estructura de dades de forma automàtica, a partir de les dades inicials del dispositiu.
- Funcions estadístiques. Les funcions d'aquest conjunt prenen les dades de les estructures creades per executar-les en les equacions dissenyades dels diferents paràmetres estadístics, generant nous valors.
- Funcions d'anàlisi. Finalment, les funcions del darrer grup s'han utilitzat per comparar els valors dels paràmetres i generar els resultats de l'anàlisi estadística.

B1. Funcions administratives

ReadFile

```
function [tabledata1,tabledata2] = ReadFile(D,filename)
```

This function imports numeric data from a text file into 2 tables. The name of the text file must be given.

```
%      TABLEDATA1: Data overall
%      TABLEDATA2: Data log

% Example:
%   T1,T2 = ReadFile('Resubj01ExH11Trial1.txt');
```

Change directory to data folder

```
Dorigin = cd;

cd(D(1).folder);
```

Variable initialization

```
delimiter = {' ','|'};

% Through analyzing one sample file ('Resubj01ExH11Trial1.txt'), noticed
% that TABLEDATA1 starts at row 50 and ends at row 59. On the other hand,
% TABLEDATA1 starts at row 59+6 BUT THERE IS VARIABILITY AT THE END, as
% depends on the time the subject takes to finish the whole exercise.
```

```
startRow1=50;
endRow1=59;
startRow2=6;

T=readtable(filename);
endRow2=height(T)-56;
formatSpec1 = '%f%f%f%f%f%f%f%f%f%f%f%f%f%f%f%f%f%f%f[f%\n\r]';
formatSpec2 = '%f%f%f%f%f%f%f%f%f%f[f%\n\r]';
```

Open the text file.

```
fileID = fopen(filename, 'r');
```

Read columns of data according to the format.

```
%TABLEDATA1
dataArray1 = textscan(fileID, formatSpec1, endRow1(1)-startRow1(1)+1, 'Delimiter',
delimiter, 'MultipleDelimsAsOne', true, 'HeaderLines', startRow1(1)-1, 'ReturnOnError',
false, 'EndOfLine', '\r\n');
for block=2:length(startRow1)
    frewind(fileID);
    dataArrayBlock = textscan(fileID, formatSpec1, endRow1(block)-startRow1(block)+1,
'Delimiter', delimiter, 'MultipleDelimsAsOne', true, 'HeaderLines', startRow1(block)-1,
'ReturnOnError', false, 'EndOfLine', '\r\n');
    for col=1:length(dataArray1)
        dataArray1{col} = [dataArray1{col};dataArrayBlock{col}];
    end
end

%TABLEDATA2
dataArray2 = textscan(fileID, formatSpec2, endRow2(1)-startRow2(1)+1, 'Delimiter',
delimiter, 'MultipleDelimsAsOne', true, 'HeaderLines', startRow2(1)-1, 'ReturnOnError',
false, 'EndOfLine', '\r\n');
for block=2:length(startRow2)
    frewind(fileID);
    dataArrayBlock = textscan(fileID, formatSpec2, endRow2(block)-startRow2(block)+1,
'Delimiter', delimiter, 'MultipleDelimsAsOne', true, 'HeaderLines', startRow2(block)-1,
'ReturnOnError', false, 'EndOfLine', '\r\n');
    for col=1:length(dataArray2)
        dataArray2{col} = [dataArray2{col};dataArrayBlock{col}];
    end
end
```

Close the text file.

```
fclose(fileID);
```


Return to original directory

```
cd(Dorigin);
```

Create output variable

```
tabledata1 = table(dataArray1{1:end-1}, 'VariableNames',  
{'TargetId','TargetX','TargetY','TargetZ','TargetOrientation','TargetGraspDepth','TargetGraspRotation','MinimumDistance','MinimumRotation','TimeStamp','ToolX','ToolY','ToolZ','ToolOrientation','ToolGraspDepth','ToolGraspRotation','ePosition','eOrientation','AccToolDisplacement','AccToolRotation','AccGraspDepth','AccGraspRotation','CameraOrientation'});  
tabledata2 = table(dataArray2{1:end-1}, 'VariableNames',  
{'SampleTime','CurrentTargetId','ToolOutIn','POSEToolX','POSEToolY','POSEToolZ','POSEToolRot','POSEGrasperDepth','POSEGrasperRot','CameraOrientation'});
```

ReadDB

```
function [ db ] = ReadDB( D )
```

This function reads the directory (all files) and generates a database (db)

%WATCH OUT! The function takes a couple minutes to execute

```
% db (struct) contains 2 fields:
%   - names of the subjects (Ex: Subject04)
%   - subdb (struct) which contains 3 fields:
%       - names of the trials (Ex: Trial23)
%       - tables regarding overall data (T1)
%       - tables regarding log data (T2)

% EXAMPLE
% db = ReadDB(dir('data'));
% From subject 25 and trial 10, show me T1 and T2:
% db(25).subdb(10).overall
% db(25).subdb(10).log
```

FILES: array containing all the .txt file names.

```
% Let's count (c) how many files are in the directory:
c=0;
for i = 1:length(D)
    if contains(D(i).name, 'Ressubj')
        c=c+1;
    end
end

% The array cx1 is introduced, full of empty strings.
files = strings(c,1);

% Let's add the file names to the array
c=1;
for i = 1:length(D)
    if contains(D(i).name, 'Ressubj')
        files(c,1) = D(i).name;
        c=c+1;
    end
end
```

SUBJ: array containing the subject names

```
% First of all, the array of strings is converted into a char array
files = char(files);

% Let's create the array subj. Previous discrimination between subject
% names >= 100 and the ones < 100 must be taken into account.
for i = 1:length(files)
```

```

    if contains(files(i,8:10),'E')
        subj(i,1:2) = files(i,8:9); %for subj 01 - subj 99
    else
        subj(i,1:3) = files(i,8:10); %for subj 100 - ...
    end
end

% A problem is found as the subject names are repeated. Function unique is
% used, but subj will be converted into a string array in order to apply
% it. Once the function is applied, subj will be converted into a char
% array again.
subj = char(unique(string(subj)));

```

TRIAL: array containing trial names

```

% Trials are supposed to be 30 in all subject cases. Thus, the array is
% generated with a simple succession:
trial = 1:30;

% A string array is needed, so num2str is used:
trial = num2str(trial');

```

DB (and SUBDB): databases

```

% db and subdb are introduced, as structures:
db = struct;
subdb = struct;

% Subdb will be filled with trial names and respective T1 and T2
% strcat is used to concatenate the strings needed to form the file name.
% strtrim is needed to delete the blank generated in values 1-9 in the
% trial names.
for i = 1:length(subj)
    for j = 1:length(trial)
        filename = strcat('Ressubj',subj(i,1:3),'ExH11Trial',strtrim(trial(j,1:2)),'.txt');
        %for example, 'Ressubj04ExH11Trial25.txt'
        [T1,T2] = ReadFile(D,filename); %Check out ReadFile

        subdb(j).name = strcat('Trial',strtrim(trial(j,1:2)));
        subdb(j).overall = T1;
        subdb(j).log = T2;

        %db is filled with subject names and respective subdb
        db(i).name = strcat('Subject',subj(i,1:3));
        db(i).subdb = subdb;
    end
end

```

SMD

```
function [ T ] = SMD(db,subject,trial,whichtable)
```

The function shows T data (overall data, T1, or log data, T2) of a certain file (db database,Y subject, Z trial)

```
% The purpose of the function is to avoid typing a large sentence  
% (db(25).subdb(10).overall, for example) to obtain a certain table  
  
% EXAMPLE  
% From subject 25 and trial 10, show me overall data and then log data:  
% T1 = SMD(db,25,10,1);  
% T2 = SMD(db,25,10,2);
```

SHOW TABLES: OVERALL DATA AND LOG DATA

```
if whichtable==1  
    T = db(subject).subdb(trial).overall;  
else  
    T = db(subject).subdb(trial).log;  
end  
end
```

Whols

```
function [ Subject ] = whoIs(db,Subj,desired_format)
```

This function translates the subject number as Matlab does not order the numbers in the same way than Windows with the .txt files.

```
% EXAMPLE
% who is the Subject25 in Matlab?
% MatSubject = whoIs(db,25,'Matlab');
% who is the subject 25 in the .txt file
% txtSubject = whoIs(db,25,'txt');
```

Condition of desired format

```
if length(desired_format)>3 %if 'Matlab' is given as a desired format
    if Subj<100
        if Subj<10
            search=strcat('Subject','0',num2str(Subj));
        else
            search=strcat('Subject',num2str(Subj));
        end
        for i=1:length(db)
            if length(db(i).name)==9
                if db(i).name == search
                    Subject = i;
                end
            end
        end
    else
        search=strcat('Subject',num2str(Subj));
        for i=1:length(db)
            if length(db(i).name)==10
                if db(i).name == search
                    Subject = i;
                end
            end
        end
    end
else %if 'txt' is given as a desired format
    Subject = db(Subj).name;
end
end
```

B2. Funcions estadístiques

Accuracy

```
function [ Amean,OrAmean,OAmean ] = Accuracy(db,Subjecte)
```

This function shows the accuracy (%) obtained from trial 1 to the end.

```
% EXAMPLE
% From subject 11, show all variables of accuracy.
% [Amean,AOmean] = Accuracy(db,11,10);
```

Initialize variables

```
trials=1:length(db(1).subdb);
```

Calculate Accuracy between target and tool

```
for j = 1:length(db(1).subdb) %for every trial
    T1 = SMD(db,Subjecte,j,1); %check out SMD
    M1 = table2array(T1); %the table is converted into a matrix (operable)
    TAR=readtable('TargetAngularRanges.txt'); %the table with teorical
    %accepted values for orientation is called (NOT USED IN THIS STUDY)
    MTAR=table2array(TAR);

    % Distances
    for i = 1:length(M1(:,1)) %for every target
        if isnan(M1(i,2))==0 %avoid NaN found in some subjects that did
            %not finish the whole exercise
            %ACCURACY
            A(1,i) = M1(i,17); %This value is calculated by the platform

            %ORIENTATION ACCURACY

            DifRot(1,i)=M1(i,18); %This value is calculated by the
            %platform but not normalized.

            %Following equation explained in the docx:
            if M1(i,5)-20<0
                alfa1(1,i)=0;
            else
                alfa1(1,i)=M1(i,5)-20;
            end
            if M1(i,5)+20>360
                alfa2(1,i)=360;
            else
                alfa2(1,i)=M1(i,5)+20;
```

```

end

if M1(i,5)+DifRot(1,i)>=360
    alfau(1,i)=M1(i,5)-DifRot(1,i);
else
    alfau(1,i)=M1(i,5)+DifRot(1,i);
end

if alfa1(1,i)<0
    alfa1(1,i)=360+alfa1(1,i);
end
if alfa2(1,i)<0
    alfa2(1,i)=360+alfa2(1,i);
end
if alfau(1,i)<0
    alfau(1,i)=360+alfau(1,i);
end

if alfau(1,i)<alfa2(1,i) && alfau(1,i)>alfa1(1,i)
    OrA(1,i)=1*100;
else
    OrA(1,i)=(1-((min(abs(alfa1(1,i)-alfau(1,i)), (abs(alfa2(1,i)-alfau(1,i)))))/(360-abs(alfa2(1,i)-alfa1(1,i)))))*100;
end

% OVERALL ACCURACY
if A(1,i)>0
    OA(1,i)=1/2*(A(1,i)+OrA(1,i));
else
    OA(1,i)=0;
end

end

end

%Once all targets are calculated, the mean value is calculated
Amean(1,j) = mean(A);
OrAmean(1,j) = mean(OrA);
OAmean(1,j) = mean(OA);
end

end

```

Economy

```
function [SumXYZ,SumO] = Economy(db, Subjecte)
```

This function shows the motion economy obtained from trial 1 to the end

```
% The index composed by the motion (either in X,Y,Z axes or
% rotational), divided to the number of targets attempted is obtained.
```

```
% EXAMPLE
% From subject 15 show motion economy
% [SumXYZ,SumO] = Economy(db,15);
```

Initialize variables

```
trials=1:length(db(1).subdb);
c=0;
```

MOTION ECONOMY

```
if nargin>1 %if subject is also given
    for j = 1:length(trials)

        % INITIALIZE VARIABLES
        T1 = SMD(db,Subjecte,j,1); %check out SMD function
        M1 = table2array(T1); %the table is converted into a matrix

        T2 = SMD(db,Subjecte,j,2);
        M2 = table2array(T2);

        MotionX=0;
        MotionY=0;
        MotionZ=0;
        MotionO=0;
        cc=0;

        % CHECKING T1 (looking for NaN values)
        for k = 1:length(M1(:,1)) %the number of targets attempted is
            %is calculated (c), so T1 is checked.
            if isnan(M1(k,2))==0
                c=c+1;
            end
        end

        % CALCULATE MOTION
        for i = 1:length(M2(:,1)) %for every individual log from T2
            if isnan(M2(i,2))==0 && i ~= length(M2(:,1)) %avoid
                %NaN found in some subjects that did not finish the
                %whole exercise
                cc=cc+1; %another counter in case i ~= cc
```



```

        MotionX(j,cc)=abs(M2(i+1,4)-M2(i,4)); %displacement x
        %between logs
        MotionY(j,cc)=abs(M2(i+1,5)-M2(i,5)); %displacement Y
        MotionZ(j,cc)=abs(M2(i+1,6)-M2(i,6)); %displacement Z

        MotionO(j,cc)=abs(M2(i+1,7)-M2(i,7)); %rotation (Z)
    end
end

SumXYZ(j,1)= (sum(MotionX(j,:))+sum(MotionY(j,:))+sum(MotionZ(j,:)))/c;
%The index is calculated adding all displacements and dividing them
%for the number of targets

SumO(j,1) = sum(MotionO(j,:))/c; %same concept, but using the rotations

c=0; %counter is reset
end
end
```

Duration

```
function [ElapsedTime] = Duration( db,Subject )
```

This function shows intervention time of a specific subject.

```
% EXAMPLES
% Show elapsed time of subject 12:
%   Duration (db,12)
```

Initial definitions

```
trials = 1:length(db(1).subdb);
c=0;
```

INTERVENTION TIME

```
if nargin>1 %if subject is given
    for i = 1:length(trials)

        T2 = SMD(db,Subject,i,2); %Check out SMD function
        M2=table2array(T2); %The table is converted into a matrix
        ElapsedTime (1,i) = M2(length(M2),1)/1000; %The last number of
        %"lapse time" column of the file is the total elapsed time (sec).
        %Thus, an array of all elapsed times of the trials is generated.
    end
end
end
```

Velocity

```
function [Vmaxini, Vmaxpunta, Vmeanpeaks, Vmean]=velocity( db, Subject, Trial )
```

This function shows the velocity obtained either for a specific trial or from trial 1 to the end.

```
% For every trial, the instantaneous velocity of each log is calculated
% from the quocient of distance travelled by the tool and the elapsed time.
```

```
% Obtaining all velocities, it is observed that right after the target is
% changed, the velocity raises sharply as the user tries to move rapidly to
% the next target. This velocity will be analysed. For that, Maximum
% velocity is calculated from every period of time between every target
% change, for all trials and obtaining 3 variables:
```

```
% 1. Maximum velocity (peak) of the maximum velocities of every period of
% time ranging between every target change
% 2. Mean velocity of all the maximum velocities of every period of time
% ranging between every target change
% 3. Mean velocity of all exercise
```

```
% EXAMPLE
```

```
% From subject 10, show the evolution of the maximum velocity
```

```
%[Vmaxini, Vmaxpunta, Vmax] = velocity(db,10)
```

```
% From subject 10, show the instantaneous velocity obtained of the trial 2.
```

```
%[Vmaxini,Vmaxpunta,Vmax] = velocity(db,10,2)
```

Initialize variables

```
trials = 1:length(db(1).subdb);
c=0;
```

VELOCITY OF A SPECIFIC SUBJECT AND TRIAL

```
if nargin>2 %if subject is also given

    % INITIALIZE VARIABLES
    T2 = SMD(db,Subject,Trial,2); %check out SMD function
    M2 = table2array(T2); %the table is converted into a operable matrix

    % CALCULATE INSTANTANEOUS VELOCITY
    for j = 1:length(M2)-1 %for every individual log in T2
        if j == 1 %the instant 0 is directly assigned to velocity zero.
            InstantVel(j,1) = 0;
        end
        %the rest is obtained from T2 as the quocient of the distance
        %travelled (absoulute position in all axes of instant t+1 -
        %absolute position in all axes of instant t) and the elapsed time
        %(t+1 - t).
        InstantVel(j+1,1) = ( abs(M2(j+1,4)-M2(j,4)) + abs(M2(j+1,5)-M2(j,5)) +
```

```

abs(M2(j+1,6)-M2(j,6)) ) / ( M2(j+1,1)-M2(j,1) );

% LOOKING FOR MARKS (instants in which the target is changed)
if M2(j+1,2)~=M2(j,2)
    c = c+1;
    marks(c,1) = j; %every change of the current target is marked
    %because of its relevance in velocity
end

end

% PEAK VELOCITY OF THE INITIAL INSTANCES (before the first change of
%the target)
Vmaxini=max(InstantVel(1:marks(1,1),1)); %as the maximum of every
%instantaneous velocities of this specific period of time.

% PEAK VELOCITY BETWEEN TARGET CHANGES
for i = 1:length(marks)-1 %for every period between marks
    Vmaxi(i,1)=max(InstantVel(marks(i,1):marks(i+1,1),1)); %as the
%maximum of every period
end

%the array obtained is diverged into 2 variables:
Vmaxpunta=max(Vmaxi); %the maximum value of the whole array
%peak of peaks)

Vmeanpeaks=mean(Vmaxi); %the mean value of all peaks

% MEAN VELOCITY OF THE EXERCISE
Vmean=mean(InstantVel);

end

```

Trajectory

```
function [TargetX,TargetY,TargetZ]=Trajectory(db,Subjecte,Trial)
```

This function draws a map of the uterus, attending to the trajectory followed by the user, tracking POSE information every 64ms aprox.

```
% EXAMPLE
% From subject 11 and trial 25, show me the trajectory drawn by the user.
% Trajectory(db,11,25);
```

Variable initialization

```
T1 = SMD(db,Subjecte,Trial,1); %check out SMD function
M1 = table2array(T1); %the table is converted into a matrix (operable)
T2 = SMD(db,Subjecte,Trial,2);
M2 = table2array(T2);
```

Final positions (information from T1)

```
targets=0;
for i = 1:length(M1(:,1)) % for every target...
    % Checking T1, looking for NaN values:
    if isnan(M1(i,2))==0
        targets=targets+1; %number of targets attempted.
    end

    % Let's find the position values of targets and tool (when they are
    % close)
    TargetX(1,i) = M1(i,2);
    TargetY(1,i) = M1(i,3);
    TargetZ(1,i) = M1(i,4);

    ToolX(1,i) = M1(i,11);
    ToolY(1,i) = M1(i,12);
    ToolZ(1,i) = M1(i,13);
end
```

POSE log of the tool (information from T2)

```
Threshold=0.1;
counter=1;
for i = 1:length(M2) % for every individual log

    %Let's find the instantaneous POSE value of the tool
    PoseX(1,i) = M2(i,4);
    PoseY(1,i) = M2(i,5);
    PoseZ(1,i) = M2(i,6);
```

```

%{
    % SWITCH VARIABLE (CONSIDERING ADDING THIS)

    %X-Y
    if i>=3
        if abs(PoseX(1,i)-PoseX(1,i-1))<Threshold && abs(PoseY(1,i)-PoseY(1,i-1))>=Threshold
        elseif abs(PoseX(1,i)-PoseX(1,i-1))>=Threshold && abs(PoseY(1,i)-PoseY(1,i-1))<Threshold
        elseif abs(PoseX(1,i)-PoseX(1,i-1))<Threshold && abs(PoseY(1,i)-PoseY(1,i-1))<Threshold
        else
            for j=1:3
                PoseeeX(j,1)=PoseX(1,i+(j-3));
                PoseeeY(j,1)=PoseY(1,i+(j-3));
            end
            [icurve,gndata]=fit(PoseeeX,PoseeeY,'poly1');
            if gndata.rsquare<0.95
                switchesX(1,counter)=PoseX(1,i);
                switchesY(1,counter)=PoseY(1,i);
                switchesZ(1,counter)=PoseZ(1,i);
                counter=counter+1;
            end
        end
    end
end
switches=length(switchesX);
%}

end

%{
%% Physical limits of the uterus (NOT REAL COORDINATES)

good=0;
for i=1:length(M1(:,1))
    if isnan(M1(i,2))
        break
    end
    if M1(i,1)==1
        limitsX(1,3)=TargetX(1,i)-5;
        limitsY(1,3)=TargetY(1,i);
        limitsX(1,4)=TargetX(1,i)-10;
        good=1;
    elseif M1(i,1)==2
        limitZsup=TargetZ(1,i)+10;
    elseif M1(i,1)==3
        limitsX(1,7)=TargetX(1,i);
        limitsY(1,7)=TargetY(1,i)-5;
        limitsY(1,1)=TargetY(1,i)-15;
        limitsY(1,8)=limitsY(1,1);
    end
end

```

```

        good=1;
    elseif M1(i,1)==5
        limitsX(1,2)=TargetX(1,i);
        limitsY(1,2)=TargetY(1,i)-5;
        good=1;
    elseif M1(i,1)==8
        limitZinf=TargetZ(1,i)-5;
        limitsX(1,1)=TargetX(1,i)+2;
        limitsX(1,8)=limitsX(1,1);
    elseif M1(i,1)==0
        limitsX(1,6)=TargetX(1,i)+5;
        limitsY(1,6)=TargetY(1,i);
        limitsY(1,4)=TargetY(1,i)+10;
        limitsX(1,5)=TargetX(1,i)+10;
        limitsY(1,5)=TargetY(1,i)+10;
        good=1;
    end
end

end

%NUMBER OF COLLISIONS (change when real coordinates given)
collisions=0;
if good==1
    [in,on]=inpolygon(PoseX,PoseY,limitsX,limitsY);
    collisions=numel(PoseX(~in));
    for i=1:length(PoseZ)
        if PoseZ(1,i)>limitZsup || PoseZ(1,i)<limitZinf
            collisions=collisions+1;
        end
    end
else
    collisions=NaN;
end

t_collision=collisions*64/1000; %duration of collision in s(every log takes about 64ms)
%DANGER ZONE
[d_min, varargout] = p_poly_dist(PoseX, PoseY, limitsX, limitsY);
dangers=0;
for i=1:length(d_min)
    if d_min(i,1)<=3 && any(PoseX(in) == PoseX(1,i)) && any(PoseY(in) == PoseY(1,i)) &&
    PoseZ(1,i)>limitZinf && PoseZ(1,i)<limitZsup
        dangers=dangers+1;
        PoseXdanger(1,dangers)=PoseX(1,i);
        PoseYdanger(1,dangers)=PoseY(1,i);
        PoseZdanger(1,dangers)=PoseZ(1,i);
    end
end
t_danger=dangers*64/1000; %duration of danger in s (every log takes about 64ms)
%}

```

Plotting



```

% Let's plot target and tool final positions and instantaneous tool POSE
% altogether. POSE values will draw the trajectory of the tool.

figure(5)
plot3(TargetX,TargetY,TargetZ,'o') %final positions of targets
hold on
plot3(ToolX,ToolY,ToolZ,'o') %final positions of tools
hold on
plot3(PoseX,PoseY,PoseZ,'--') %instantaneous tool POSES
hold on
plot3(PoseX(1,1),PoseY(1,1),PoseZ(1,1),'+') %marking first POSE log
hold on
plot3(PoseX(1,length(PoseX)),PoseY(1,length(PoseY)),PoseZ(1,length(PoseZ)),'+') %marking
final log
hold on
%{
if dangers~=0
    plot3(PoseXdanger,PoseYdanger,PoseZdanger,'yo') % danger zone (yellow)
    hold on
end
if collisions~=0
    plot3(PoseX(~in),PoseY(~in),PoseZ(~in),'ro') %contact (red)
    hold on
end
%plot3(switchesX,switchesY,switchesZ,'+');
%hold on
%}
title('Mapa dibuix tool @ úter')
xlabel('Eix x (mm)')
ylabel('Eix y (mm)')
zlabel('Eix z(mm)')
legend('Posició del target','Posició del tool','Trajectòria
tool','Inici','Final','DangerZone','Colliding')

c=0;
for i=1:length(M1(:,1)) %showing the target numbers along them and the
    %specific order of the exercise
    if isnan(M1(i,2))
        break
    end
    c=c+1;
    target=num2str(M1(i,1));
    targetorder(c,1)=target;
    text(TargetX(1,i)+0.75,TargetY(1,i)+0.75,TargetZ(1,i)+0.75,target,'FontSize',11)
end
text(100,55,100,targetorder)
hold off

```



```

%}

figure(6) %X Y only
plot(TargetX,TargetY,'o') %final positions of targets
hold on
plot(ToolX,ToolY,'o') %final positions of tools
hold on
plot(PoseX,PoseY,'--') %instantaneous tool POSES
hold on
plot(PoseX(1,1),PoseY(1,1),'+') %marking first POSE log
hold on
plot(PoseX(1,length(PoseX)),PoseY(1,length(PoseY)),'+') %marking final log
hold on
%}

%{
if dangers~=0
    plot(PoseXdanger,PoseYdanger,'yo') % danger zone
    hold on
end
if collisions~=0
    plot(PoseX(~in),PoseY(~in),'ro')
end
%plot(switchesX,switchesY,'+');
%hold on
plot(limitsX,limitsY)
hold on
%}

title('Mapa dibuix tool @ úter [X Y only]')
xlabel('Eix x (mm)')
ylabel('Eix y (mm)')
legend('Posició del target','Posició del tool','Trajectòria tool','Inici','Final','DangerZone','Colliding')

c=0;
for i=1:length(M1(:,1)) %showing the target numbers along them and the
    %specific order of the exercise
    if isnan(M1(i,2))
        break
    end
    c=c+1;
    target=num2str(M1(i,1));
    targetorder(c,1)=target;
    text(TargetX(1,i)+0.75,TargetY(1,i)+0.75,target,'FontSize',11)
end
text(100,55,targetorder)
hold off
%}

```

Other plots: if it is of interest, X-Z and Y-Z can also be plotted:

```
figure(7)
plot(TargetX,TargetZ,'o')
hold on
plot(ToolX,ToolZ,'o')
hold on
plot(PoseX,PoseZ,'--')
title('Mapa operatiu X-Z')
xlabel('Eix x (mm)')
ylabel('Eix z (mm)')
legend('Posició del target','Posició del tool','Trajectòria tool')
hold off

figure(8)
plot(TargetY,TargetZ,'o')
hold on
plot(ToolY,ToolZ,'o')
hold on
plot(PoseY,PoseZ,'--')
title('Mapa operatiu Y-Z')
xlabel('Eix y (mm)')
ylabel('Eix z (mm)')
legend('Posició del target','Posició del tool','Trajectòria tool')
hold off
end
```

B3. Funcions d'anàlisi

Performance

```
function [Stats] = Performance(db)
%Performance runs all functions to obtain a struct of all processed data
%regarding the designed statisticals.
```

INFORMATION AND EXAMPLES

```
% STATS:
% Group A
% Group E
% Group D
% Group V
% Group T
% Specific statistical
% Subject
% Trial
%DATA.

%{
    4 GROUPS OF STATISTICALS:

    STATS(1): Accuracy.
        - Acc: Position accuracy (%)
        - OrAcc: Orientation accuracy (%)
        - OAcc: Overall accuracy (%)
    STATS(2): Economy
        - Dist: Total distance (mm)
        - Rot: Total rotation (°)
    STATS(3): Duration
        - Time: Intervention time (s)
    STATS(4): Velocity
        - Vmaxpeak: Peak of peaks (during change of target)
        - Vmeanpeaks: Mean velocity of peaks (during change of target)
        - Vmean: Mean velocity during the whole exercise

    EXAMPLE
    %Stats(1).subj(6).trial(30).Acc
    %Stats(1): Accuracy (type of Stat.)
    %subj(6): subjecte 6
    %trial(30): trial 30
    %Acc: Position accuracy

%}
```

EXECUTION OF FUNCTIONS

```

for j=1:length(db) %for every subject
    %The next "j" is used to know in which step is the program once
    %executed. Last j equals 89.
    j

    % ACCURACY group
        [AllAcc(j,1:30),AllOrAcc(j,1:30),AllOAcc(j,1:30)]=Accuracy(db,j); %3 variables

    % ECONOMY group
        [AllDist(j,1:30),AllRot(j,1:30)]=Economy(db,j); %2 variables

    % DURATION group
        AllTime(j,1:30)=Duration(db,j); %1 variable

    % TRAJECTORY group
        %Switches, Danger, Collision %3 variables
        %FUTURE WORK

    % VELOCITY group
        %Vmaxini (refuted),Vmaxpeak,Vmeanpeaks,Vmean %3 variables

    for i=1:30 % for every trial
        i
        Acc(j,i)=AllAcc(j,i); %Position Accuracy (%)
        OrAcc(j,i)=AllOrAcc(j,i); %Orientation Accuracy (%)
        OAcc(j,i)=AllOAcc(j,i); %Global Accuracy (%)

        Dist(j,i)=AllDist(j,i); %Total distance (mm)
        Rot(j,i)=AllRot(j,i); %Total rotation (°)

        Time(j,i)=AllTime(j,i); %Intervention time (s)

        [Vmaxini(j,i),Vmaxpeak(j,i),Vmeanpeaks(j,i),Vmean(j,i)]=velocity(db,j,i);
        %Max velocity first instances, Max velocity of peaks during change of
        %targets, Mean velocity of peaks during change of targets, Mean velocity
        %in the whole exercise

        %Switches(j,i)=Trajectory(db,j,i);
        close all

    end
end

```

STRUCT GENERATION

```

Stats=struct; %Main struct

A=struct; %group struct
E=struct;
D=struct;
V=struct;
%T=struct;

dataA=struct; %subgroup struct
dataE=struct;
dataD=struct;
dataV=struct;
%dataT=struct;

for i=1:length(Acc) %For every subject
    for j=1:30 %for every trial
        dataA(j).trial=strcat('Trial',char(j)); %number of trial
        dataE(j).trial=strcat('Trial',char(j));
        dataD(j).trial=strcat('Trial',char(j));
        dataV(j).trial=strcat('Trial',char(j));
        %dataT(j).trial=strcat('Trial',char(j));

        dataA(j).Acc(1,1) = Acc(i,j); % Specific data of the number of trial of the
specific subject
        dataA(j).OrAcc(1,1) = OrAcc(i,j);
        dataA(j).OAcc(1,1) = OAcc(i,j);
        dataE(j).Dist(1,1)=Dist(i,j);
        dataE(j).Rot(1,1)=Rot(i,j);
        dataD(j).Time(1,1)=Time(i,j);
        dataV(j).Vmaxini(1,1)=Vmaxini(i,j);
        dataV(j).Vmaxpeak(1,1)=Vmaxpeak(i,j);
        dataV(j).Vmeanpeaks(1,1)=Vmeanpeaks(i,j);
        dataV(j).Vmean(1,1)=Vmean(i,j);
        %dataT(j).Switches(1,1)=Switches(i,j);

        A(i).who=strcat('Subject',char(i)); %number of subject
        E(i).who=strcat('Subject',char(i));
        D(i).who=strcat('Subject',char(i));
        V(i).who=strcat('Subject',char(i));
        %T(i).who=strcat('Subject',char(i));

        A(i).trial = dataA; % group struct -> subgroup struct linking
        E(i).trial = dataE;
        D(i).trial = dataD;
        V(i).trial = dataV;
        %T(i).trial = dataT;

        Stats(1).name='Statistical_Accuracy'; %name of group
        Stats(1).subj=A; %main struct -> group struct linking
        Stats(2).name='Statistical_Economy_of_motion';
        Stats(2).subj=E;
        Stats(3).name='Statistical_Duration';
        Stats(3).subj=D;
    end
end

```

```
Stats(4).name='Statistical_Velocity';  
Stats(4).subj=v;  
%Stats(5).name='Statistical_Trajectory';  
%Stats(5).subj=T;  
end  
end  
end
```

PowSamp

```
function [n,pow,nn,pown,ne,powe] = PowSamp(db,Stats,experts,novices,pwr)
%POWSAMP
%{
Computes:

-n: matrix 8x2 showing the minimum sample size, for every statistical, to
obtain a statistical power of 95% in comparision between expert and novice
group
-pow: array 8 elements showing the statistical power of every statistical
regarding the available sample size to the comparision between exper and
novice groups
-ne: array 8 elements showing the minimum sample size, for every
statistical, to obtain a statistical power of 95% in the comparision
between trial 1 and 30 of expert group
-powe: array 8 elements showing the statistical power of every statistical
regarding the available sample size to the comparision between trial 1 and
30 of expert group
--nn: array 8 elements showing the minimum sample size, for every
statistical, to obtain a statistical power of 95% in the comparision
between trial 1 and 30 of novice group
-pown: array 8 elements showing the statistical power of every statistical
regarding the available sample size to the comparision between trial 1 and
30 of novice group

%}
```

Variable initializing

```
c=1;
for j=1:length(db)
    for i=1:30
        Acc(j,i)=Stats(1).subj(j).trial(i).Acc;
        OrAcc(j,i)=Stats(1).subj(j).trial(i).OrAcc;
        OAcc(j,i)=Stats(1).subj(j).trial(i).OAcc;
        Dist(j,i)=Stats(2).subj(j).trial(i).Dist;
        Rot(j,i)=Stats(2).subj(j).trial(i).Rot;
        Time(j,i)=Stats(3).subj(j).trial(i).Time;
        Vmaxini(j,i)=Stats(4).subj(j).trial(i).Vmaxini;
        Vmaxpeak(j,i)=Stats(4).subj(j).trial(i).Vmaxpeak;
        Vmeanpeaks(j,i)=Stats(4).subj(j).trial(i).Vmeanpeaks;
        Vmean(j,i)=Stats(4).subj(j).trial(i).Vmean;

    end

end
```

Data is separated into expert and novice group

```

k=1;

kk=1;

for i=1:length(db)
    for j=1:30
        if any(experts(:) == i)
            Acc_e(k,j)=Acc(i,j);
            OrAcc_e(k,j)=OrAcc(i,j);
            Dist_e(k,j)=Dist(i,j);
            Rot_e(k,j)=Rot(i,j);
            Time_e(k,j)=Time(i,j);
            Vmaxini_e(k,j)=Vmaxini(i,j);
            Vmaxpeak_e(k,j)=Vmaxpeak(i,j);
            Vmeanpeaks_e(k,j)=Vmeanpeaks(i,j);
            Vmean_e(k,j)=Vmean(i,j);
            if j>=30
                k=k+1;
            end
        elseif any(novices(:) == i)
            Acc_n(kk,j)=Acc(i,j);
            OrAcc_n(kk,j)=OrAcc(i,j);
            Dist_n(kk,j)=Dist(i,j);
            Rot_n(kk,j)=Rot(i,j);
            Time_n(kk,j)=Time(i,j);
            Vmaxini_n(kk,j)=Vmaxini(i,j);
            Vmaxpeak_n(kk,j)=Vmaxpeak(i,j);
            Vmeanpeaks_n(kk,j)=Vmeanpeaks(i,j);
            Vmean_n(kk,j)=Vmean(i,j);
            if j>=30
                kk=kk+1;
            end
        end
    end
end
end

```

Novice vs Expert

```

meanAccn=mean(mean(Acc_n));
stdAccn=std(mean(Acc_n));
meanAcce=mean(mean(Acc_e));

meanOrAccn=mean(mean(OrAcc_n));
stdOrAccn=std(mean(OrAcc_n));
meanOrAcce=mean(mean(OrAcc_e));

meanDistn=mean(mean(Dist_n));
stdDistn=std(mean(Dist_n));
meanDiste=mean(mean(Dist_e));

meanRotn=mean(mean(Rot_n));

```



```

stdRotn=std(mean(Rot_n));
meanRote=mean(mean(Rot_e));

meanTimen=mean(mean(Time_n));
stdTimen=std(mean(Time_n));
meanTimee=mean(mean(Time_e));

meanVmaxpeakn=mean(mean(Vmaxpeak_n));
stdVmaxpeakn=std(mean(Vmaxpeak_n));
meanVmaxpeake=mean(mean(Vmaxpeak_e));

meanVmeanpeaksn=mean(mean(Vmeanpeaks_n));
stdVmeanpeaksn=std(mean(Vmeanpeaks_n));
meanVmeanpeakse=mean(mean(Vmeanpeaks_e));

meanVmeann=mean(mean(Vmean_n));
stdVmeann=std(mean(Vmean_n));
meanVmeane=mean(mean(Vmean_e));

%creating n
[n11,n12] = sampsizepwr('t2',[meanAccn,stdAccn],meanAcce,pwr,[],'Ratio',61/21);
[n21,n22] = sampsizepwr('t2',[meanOrAccn,stdOrAccn],meanOrAcce,pwr,[],'Ratio',61/21);
[n31,n32] = sampsizepwr('t2',[meanDistn,stdDistn],meanDiste,pwr,[],'Ratio',61/21);
[n41,n42] = sampsizepwr('t2',[meanRotn,stdRotn],meanRote,pwr,[],'Ratio',61/21);
[n51,n52] = sampsizepwr('t2',[meanTimen,stdTimen],meanTimee,pwr,[],'Ratio',61/21);
[n61,n62] =
sampsizepwr('t2',[meanVmaxpeakn,stdVmaxpeakn],meanVmaxpeake,pwr,[],'Ratio',61/21);
[n71,n72] =
sampsizepwr('t2',[meanVmeanpeaksn,stdVmeanpeaksn],meanVmeanpeakse,pwr,[],'Ratio',61/21);
[n81,n82] = sampsizepwr('t2',[meanVmeann,stdVmeann],meanVmeane,pwr,[],'Ratio',61/21);

%creating pow
p1 = sampsizepwr('t2',[meanAccn,stdAccn],meanAcce,[],21,'Ratio',61/21);
p2 = sampsizepwr('t2',[meanOrAccn,stdOrAccn],meanOrAcce,[],21,'Ratio',61/21);
p3 = sampsizepwr('t2',[meanDistn,stdDistn],meanDiste,[],21,'Ratio',61/21);
p4 = sampsizepwr('t2',[meanRotn,stdRotn],meanRote,[],21,'Ratio',61/21);
p5 = sampsizepwr('t2',[meanTimen,stdTimen],meanTimee,[],21,'Ratio',61/21);
p6 = sampsizepwr('t2',[meanVmaxpeakn,stdVmaxpeakn],meanVmaxpeake,[],21,'Ratio',61/21);
p7 =
sampsizepwr('t2',[meanVmeanpeaksn,stdVmeanpeaksn],meanVmeanpeakse,[],21,'Ratio',61/21);
p8 = sampsizepwr('t2',[meanVmeann,stdVmeann],meanVmeane,[],21,'Ratio',61/21);

```

Novices: Trial 1 vs trial 30

```

meanAccn1=mean(Acc_n(:,1));
stdAccn1=std(Acc_n(:,1));
meanAccn30=mean(Acc_n(:,30));

meanOrAccn1=mean(OrAcc_n(:,1));
stdOrAccn1=std(OrAcc_n(:,1));

```



```

meanOrAccn30=mean(OrAcc_n(:,30));

meanDistn1=mean(Dist_n(:,1));
stdDistn1=std(Dist_n(:,1));
meanDistn30=mean(Dist_n(:,30));

meanRotn1=mean(Rot_n(:,1));
stdRotn1=std(Rot_n(:,1));
meanRotn30=mean(Rot_n(:,30));

meanTimen1=mean(Time_n(:,1));
stdTimen1=std(Time_n(:,1));
meanTimen30=mean(Time_n(:,30));

meanVmaxpeakn1=mean(Vmaxpeak_n(:,1));
stdVmaxpeakn1=std(Vmaxpeak_n(:,1));
meanVmaxpeakn30=mean(Vmaxpeak_n(:,30));

meanVmeanpeaksn1=mean(Vmeanpeaks_n(:,1));
stdVmeanpeaksn1=std(Vmeanpeaks_n(:,1));
meanVmeanpeaksn30=mean(Vmeanpeaks_n(:,30));

meanVmeann1=mean(Vmean_n(:,1));
stdVmeann1=std(Vmean_n(:,1));
meanVmeann30=mean(Vmean_n(:,30));

%creating nn
n1n = sampsizepwr('t2',[meanAccn1,stdAccn1],meanAccn30,pwr,[]);
n2n = sampsizepwr('t2',[meanOrAccn1,stdOrAccn1],meanOrAccn30,pwr,[]);
n3n = sampsizepwr('t2',[meanDistn1,stdDistn1],meanDistn30,pwr,[]);
n4n = sampsizepwr('t2',[meanRotn1,stdRotn1],meanRotn30,pwr,[]);
n5n = sampsizepwr('t2',[meanTimen1,stdTimen1],meanTimen30,pwr,[]);
n6n = sampsizepwr('t2',[meanVmaxpeakn1,stdVmaxpeakn1],meanVmaxpeakn30,pwr,[]);
n7n = sampsizepwr('t2',[meanVmeanpeaksn1,stdVmeanpeaksn1],meanVmeanpeaksn30,pwr,[]);
n8n = sampsizepwr('t2',[meanVmeann1,stdVmeann1],meanVmeann30,pwr,[]);

%creating pown
p1n = sampsizepwr('t2',[meanAccn1,stdAccn1],meanAccn30,[],61*2);
p2n = sampsizepwr('t2',[meanOrAccn1,stdOrAccn1],meanOrAccn30,[],61*2);
p3n = sampsizepwr('t2',[meanDistn1,stdDistn1],meanDistn30,[],61*2);
p4n = sampsizepwr('t2',[meanRotn1,stdRotn1],meanRotn30,[],61*2);
p5n = sampsizepwr('t2',[meanTimen1,stdTimen1],meanTimen30,[],61*2);
p6n = sampsizepwr('t2',[meanVmaxpeakn1,stdVmaxpeakn1],meanVmaxpeakn30,[],61*2);
p7n = sampsizepwr('t2',[meanVmeanpeaksn1,stdVmeanpeaksn1],meanVmeanpeaksn30,[],61*2);
p8n = sampsizepwr('t2',[meanVmeann1,stdVmeann1],meanVmeann30,[],61*2);

```

Experts: Trial 1 vs Trial 30

```

meanAcce1=mean(Acce_e(:,1));
stdAcce1=std(Acce_e(:,1));
meanAcce30=mean(Acce_e(:,30));

```

```

meanOrAcce1=mean(OrAcc_e(:,1));
stdOrAcce1=std(OrAcc_e(:,1));
meanOrAcce30=mean(OrAcc_e(:,30));

meanDiste1=mean(Dist_e(:,1));
stdDiste1=std(Dist_e(:,1));
meanDiste30=mean(Dist_e(:,30));

meanRote1=mean(Rot_e(:,1));
stdRote1=std(Rot_e(:,1));
meanRote30=mean(Rot_e(:,30));

meanTimee1=mean(Time_e(:,1));
stdTimee1=std(Time_e(:,1));
meanTimee30=mean(Time_e(:,30));

meanVmaxpeake1=mean(Vmaxpeak_e(:,1));
stdVmaxpeake1=std(Vmaxpeak_e(:,1));
meanVmaxpeake30=mean(Vmaxpeak_e(:,30));

meanVmeanpeakse1=mean(Vmeanpeaks_e(:,1));
stdVmeanpeakse1=std(Vmeanpeaks_e(:,1));
meanVmeanpeakse30=mean(Vmeanpeaks_e(:,30));

meanVmeane1=mean(Vmean_e(:,1));
stdVmeane1=std(Vmean_e(:,1));
meanVmeane30=mean(Vmean_e(:,30));

% Creating ne
n1e = sampsizepwr('t2',[meanAcce1,stdAcce1],meanAcce30,pwr,[]);
n2e = sampsizepwr('t2',[meanOrAcce1,stdOrAcce1],meanOrAcce30,pwr,[]);
n3e = sampsizepwr('t2',[meanDiste1,stdDiste1],meanDiste30,pwr,[]);
n4e = sampsizepwr('t2',[meanRote1,stdRote1],meanRote30,pwr,[]);
n5e = sampsizepwr('t2',[meanTimee1,stdTimee1],meanTimee30,pwr,[]);
n6e = sampsizepwr('t2',[meanVmaxpeake1,stdVmaxpeake1],meanVmaxpeake30,pwr,[]);
n7e = sampsizepwr('t2',[meanVmeanpeakse1,stdVmeanpeakse1],meanVmeanpeakse30,pwr,[]);
n8e = sampsizepwr('t2',[meanVmeane1,stdVmeane1],meanVmeane30,pwr,[]);

% Creating powe
p1e = sampsizepwr('t2',[meanAcce1,stdAcce1],meanAcce30,[],21*2);
p2e = sampsizepwr('t2',[meanOrAcce1,stdOrAcce1],meanOrAcce30,[],21*2);
p3e = sampsizepwr('t2',[meanDiste1,stdDiste1],meanDiste30,[],21*2);
p4e = sampsizepwr('t2',[meanRote1,stdRote1],meanRote30,[],21*2);
p5e = sampsizepwr('t2',[meanTimee1,stdTimee1],meanTimee30,[],21*2);
p6e = sampsizepwr('t2',[meanVmaxpeake1,stdVmaxpeake1],meanVmaxpeake30,[],21*2);
p7e = sampsizepwr('t2',[meanVmeanpeakse1,stdVmeanpeakse1],meanVmeanpeakse30,[],21*2);
p8e = sampsizepwr('t2',[meanVmeane1,stdVmeane1],meanVmeane30,[],21*2);

```

DEFINITION OF RESULT VARIABLES

```
pow = [p1,p2,p3,p4,p5,p6,p7,p8];  
n = [n11,n12;n21,n22;n31,n32;n41,n42;n51,n52;n61,n62;n71,n72;n81,n82];  
nn = [n1n,n2n,n3n,n4n,n5n,n6n,n7n,n8n];  
pown = [p1n,p2n,p3n,p4n,p5n,p6n,p7n,p8n];  
ne = [n1e,n2e,n3e,n4e,n5e,n6e,n7e,n8e];  
powe = [p1e,p2e,p3e,p4e,p5e,p6e,p7e,p8e];  
end
```

ConstructValidity

```
function [p,pte,ptn] = ConstructValidity(db,experts,novices,Stats)
%CONSTRUCTVALIDITY shows p-values of the comparison of the mean values obtained
%from every statistical of every subject in two groups: experts and
%novices.
```

DATA DECOMPOSITION

```
c=1;
cc=1;

for j=1:length(db) %for every subject
    for i=1:30 %for every trial
        if any(experts(:) == j) %if the subject is an expert
            Acc_e(c,i)=Stats(1).subj(j).trial(i).Acc; %X-Y-Z Accuracy
            OrAcc_e(c,i)=Stats(1).subj(j).trial(i).OrAcc; %Orientation Accuracy
            Dist_e(c,i)=Stats(2).subj(j).trial(i).Dist; %Total distance
            Rot_e(c,i)=Stats(2).subj(j).trial(i).Rot; %Total rotation
            Time_e(c,i)=Stats(3).subj(j).trial(i).Time; %Elapsed time
            Vmaxini_e(c,i)=Stats(4).subj(j).trial(i).Vmaxini; %Vmax at beginning
            Vmaxpeak_e(c,i)=Stats(4).subj(j).trial(i).Vmaxpeak; %Vpeak in every change of
trial
            Vmeanpeaks_e(c,i)=Stats(4).subj(j).trial(i).Vmeanpeaks; %Vmean of peaks
            Vmean_e(c,i)=Stats(4).subj(j).trial(i).Vmean; %Vmean
            if i>=30
                c=c+1;
            end

        elseif any(novices(:) == j) %otherwise, if the subject is novice
            Acc_n(cc,i)=Stats(1).subj(j).trial(i).Acc;
            OrAcc_n(cc,i)=Stats(1).subj(j).trial(i).OrAcc;
            Dist_n(cc,i)=Stats(2).subj(j).trial(i).Dist;
            Rot_n(cc,i)=Stats(2).subj(j).trial(i).Rot;
            Time_n(cc,i)=Stats(3).subj(j).trial(i).Time;
            Vmaxini_n(cc,i)=Stats(4).subj(j).trial(i).Vmaxini;
            Vmaxpeak_n(cc,i)=Stats(4).subj(j).trial(i).Vmaxpeak;
            Vmeanpeaks_n(cc,i)=Stats(4).subj(j).trial(i).Vmeanpeaks;
            Vmean_n(cc,i)=Stats(4).subj(j).trial(i).Vmean;
            if i>=30
                cc=cc+1;
            end
        end
    end
end
end
```

MEAN VALUES EXPERT vs NOVICE

```
c=1;

cc=1;
```



```

for k=1:length(db) %for every subject
    if any(experts(:) == k) %if is an expert
        Acc_ee(1,c)=mean(Acc_e(c,:));
        OrAcc_ee(1,c)=mean(OrAcc_e(c,:));
        Dist_ee(1,c)=mean(Dist_e(c,:));
        Rot_ee(1,c)=mean(Rot_e(c,:));
        Time_ee(1,c)=mean(Time_e(c,:));
        Vmaxini_ee(1,c)=mean(Vmaxini_e(c,:));
        Vmaxpeak_ee(1,c)=mean(Vmaxpeak_e(c,:));
        Vmeanpeaks_ee(1,c)=mean(Vmeanpeaks_e(c,:));
        Vmean_ee(1,c)=mean(Vmean_e(c,:));
        if c~=length(experts)
            c=c+1;
        end
    elseif any(novices(:) == k) %if is a novice
        Acc_nn(1,cc)=mean(Acc_n(cc,:));
        OrAcc_nn(1,cc)=mean(OrAcc_n(cc,:));
        Dist_nn(1,cc)=mean(Dist_n(cc,:));
        Rot_nn(1,cc)=mean(Rot_n(cc,:));
        Time_nn(1,cc)=mean(Time_n(cc,:));
        Vmaxini_nn(1,cc)=mean(Vmaxini_n(cc,:));
        Vmaxpeak_nn(1,cc)=mean(Vmaxpeak_n(cc,:));
        Vmeanpeaks_nn(1,cc)=mean(Vmeanpeaks_n(cc,:));
        Vmean_nn(1,cc)=mean(Vmean_n(cc,:));
        if cc~=length(novices)
            cc=cc+1;
        end
    end
end
end

% Wilcoxon rank-test (Mann-Whitney U-test)
p1 = ranksum(Acc_ee,Acc_nn);
p2 = ranksum(OrAcc_ee,OrAcc_nn);
p3 = ranksum(Dist_ee,Dist_nn);
p4 = ranksum(Rot_ee,Rot_nn);
p5 = ranksum(Time_ee,Time_nn);
p6 = ranksum(Vmaxpeak_ee,Vmaxpeak_nn);
p7 = ranksum(Vmeanpeaks_ee,Vmeanpeaks_nn);
p8 = ranksum(Vmean_ee,Vmean_nn);

```

TRIAL 1 vs TRIAL 30 (EXPERTS)

```

pe1 = ranksum(Acc_e(:,1),Acc_e(:,30));
pe2 = ranksum(OrAcc_e(:,1),OrAcc_e(:,30));
pe3 = ranksum(Dist_e(:,1),Dist_e(:,30));
pe4 = ranksum(Rot_e(:,1),Rot_e(:,30));
pe5 = ranksum(Time_e(:,1),Time_e(:,30));
pe6 = ranksum(Vmaxpeak_e(:,1),Vmaxpeak_e(:,30));
pe7 = ranksum(Vmeanpeaks_e(:,1),Vmeanpeaks_e(:,30));
pe8 = ranksum(Vmean_e(:,1),Vmean_e(:,30));

```

TRIAL 1 vs TRIAL 30 (NOVICES)

```
pn1 = ranksum(Acc_n(:,1),Acc_n(:,30));  
pn2 = ranksum(OrAcc_n(:,1),OrAcc_n(:,30));  
pn3 = ranksum(Dist_n(:,1),Dist_n(:,30));  
pn4 = ranksum(Rot_n(:,1),Rot_n(:,30));  
pn5 = ranksum(Time_n(:,1),Time_n(:,30));  
pn6 = ranksum(Vmaxpeak_n(:,1),Vmaxpeak_n(:,30));  
pn7 = ranksum(Vmeanpeaks_n(:,1),Vmeanpeaks_n(:,30));  
pn8 = ranksum(Vmean_n(:,1),Vmean_n(:,30));
```

SHOW RESULTS

```
p = [p1,p2,p3,p4,p5,p6,p7,p8];  
pte = [pe1,pe2,pe3,pe4,pe5,pe6,pe7,pe8];  
ptn = [pn1,pn2,pn3,pn4,pn5,pn6,pn7,pn8];  
end
```

LearningCurve

```
function LearningCurve( db,Stats,experts,novices,what)
% LearningCurve plots the learning curve as boxplots generated by all
% all subjects (according to their expertise) of the given
% statistic (Accuracy, Rotation...)
```

Reading the desired statistical

```
if length(what)==3
    if what=='Acc'
        less=1;
        for j=1:length(db)
            for i =1:30
                Ec(i,j)=Stats(1).subj(j).trial(i).Acc;
            end
        end
    elseif what=='Rot'
        for j=1:length(db)
            for i =1:30
                Ec(i,j)=Stats(2).subj(j).trial(i).Rot*10; %in °
            end
        end
    end
elseif length(what)==4
    if what=='OAcc'
        for j=1:length(db)
            for i =1:30
                Ec(i,j)=Stats(1).subj(j).trial(i).OAcc;
            end
        end
    elseif what=='Dist'
        for j=1:length(db)
            for i =1:30
                Ec(i,j)=Stats(2).subj(j).trial(i).Dist/10; %in cm
            end
        end
    elseif what=='Time'
        for j=1:length(db)
            for i =1:30
                Ec(i,j)=Stats(3).subj(j).trial(i).Time;
            end
        end
    end
elseif length(what)==5
    if what=='OrAcc'
        less=1;
        for j=1:length(db)
            for i =1:30
                Ec(i,j)=Stats(1).subj(j).trial(i).OrAcc;
            end
        end
    end
end
```



```

elseif what=='vmean'
    for j=1:length(db)
        for i =1:30
            Ec(i,j)=Stats(4).subj(j).trial(i).vmean;
        end
    end
end

elseif length(what)==7
    for j=1:length(db)
        for i =1:30
            Ec(i,j)=Stats(4).subj(j).trial(i).Vmaxini;
        end
    end
elseif length(what)==8
    for j=1:length(db)
        for i =1:30
            Ec(i,j)=Stats(4).subj(j).trial(i).Vmaxpeak;
        end
    end
elseif length(what)==10
    for j=1:length(db)
        for i =1:30
            Ec(i,j)=Stats(4).subj(j).trial(i).Vmeanpeaks;
        end
    end
end
end

```

Data divided into expert and novice group

```

c=1;
cc=1;
k=1;
kk=1;
for i=1:length(Ec(5,:))
    %First group: experts
    if any(experts(:) == i)
        for j=1:30
            Ec_e(c,j) = Ec(j,i);
            if j>=30
                c=c+1;
            end
        end
    end

    %Second group: novices:
    elseif any(novices(:) == i)
        for j=1:30
            Ec_n(cc,j) = Ec(j,i);
            if j>=30
                cc=cc+1;
            end
        end
    end
end

```

```

        end
    end
end

end

```

Generation of boxplots (LEARNING CURVE)

```

Ec_e(Ec_e==0) = NaN;
Ec_n(Ec_n==0) = NaN;

G1 =
cat(2,Ec_e(:,1),Ec_e(:,2),Ec_e(:,3),Ec_e(:,4),Ec_e(:,5),Ec_e(:,6),Ec_e(:,7),Ec_e(:,8),Ec_e(
:,9),Ec_e(:,10),Ec_e(:,11),Ec_e(:,12),Ec_e(:,13),Ec_e(:,14),Ec_e(:,15),Ec_e(:,16),Ec_e(:,17
),Ec_e(:,18),Ec_e(:,19),Ec_e(:,20),Ec_e(:,21),Ec_e(:,22),Ec_e(:,23),Ec_e(:,24),Ec_e(:,25),E
c_e(:,26),Ec_e(:,27),Ec_e(:,28),Ec_e(:,29),Ec_e(:,30));
G2 =
cat(2,Ec_n(:,1),Ec_n(:,2),Ec_n(:,3),Ec_n(:,4),Ec_n(:,5),Ec_n(:,6),Ec_n(:,7),Ec_n(:,8),Ec_n(
:,9),Ec_n(:,10),Ec_n(:,11),Ec_n(:,12),Ec_n(:,13),Ec_n(:,14),Ec_n(:,15),Ec_n(:,16),Ec_n(:,17
),Ec_n(:,18),Ec_n(:,19),Ec_n(:,20),Ec_n(:,21),Ec_n(:,22),Ec_n(:,23),Ec_n(:,24),Ec_n(:,25),E
c_n(:,26),Ec_n(:,27),Ec_n(:,28),Ec_n(:,29),Ec_n(:,30));

h = {G2;G1};

figure(5)
abxplot(h,'labels',[1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,2
7,28,29,30])
hold on

%Following mean values:

for i=1:30
    Me(1,i)=nanmean(Ec_e(:,i));
    Mn(1,i)=nanmean(Ec_n(:,i));
end

plot(1.175:30.175,Me,'-k')
hold on
plot(1-0.175:30-0.175,Mn,'-b')
legend('Grup principiant','Grup expert')
hold off
end

```